

LAAS CNRS

LABORATOIRE
D'ANALYSE ET
D'ARCHITECTURE
DES SYSTÈMES



édito

Qu'est ce que le **LAAS** ?

C'est un lieu de science, avec ses passions, ses rêves et ses engagements ; des engagements sur des objets de recherche qui introduisent une rupture fondamentale dans notre façon de découvrir, de modéliser et de construire le monde et nous mêmes. C'est un lieu de questionnement et de production de savoir ; un lieu d'efforts pour répondre, dans son domaine, aux interrogations de l'homme et de la société. Un lieu de recherche, largement ouvert sur l'Europe et le monde, car la recherche se nourrit de diversité et d'échanges, très présent dans une communauté scientifique internationale responsable.

C'est un partenaire pour les producteurs de technologies innovantes, contribuant à notre développement et à sa rationalisation ; un partenaire pour les entreprises, petites ou grandes, soucieux de transfert, de valorisation et de la pertinence de ses travaux relativement aux besoins sociétaux.

C'est un lieu de formation non scolaire, de formation « la main à la pâte », d'ingénieurs et de scientifiques de haut niveau, par la recherche et à la recherche.

C'est un état d'esprit, l'esprit LAAS, mobilisé vers l'intérêt général et l'action collective, esprit de rigueur morale et intellectuelle, volontariste et exigeant vis à vis de ses actions et de ses ambitions, pour être parmi les meilleurs, et pour contribuer à ce que l'Université de Toulouse soit parmi les dix premières d'Europe.

L'ensemble du personnel du LAAS est heureux de vous offrir cette plaquette qui présente quelques facettes de notre identité, plaquette accompagnée d'un cahier, Le LAAS en chiffres, qui concrétise ces facettes en quelques indicateurs, annuellement actualisés.



MALIK GHALLAB
Directeur du LAAS-CNRS



SOMMAIRE



VUE D'ENSEMBLE

7 HISTOIRE

9 PROJET SCIENTIFIQUE

10 ORGANISATION

11 THÉMATIQUES DE RECHERCHE

Pôle Minas, Micro et nanosystèmes
Pôle Mocosy, Modélisation, optimisation et conduite des systèmes
Pôle Rosa, Robots et systèmes autonomes
Pôle Sinc, Systèmes informatiques critiques

15 INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE

Service informatique et instrumentation
Service techniques et équipements appliqués à la microélectronique
Services administratifs et logistiques

19 RECHERCHE ET FORMATION

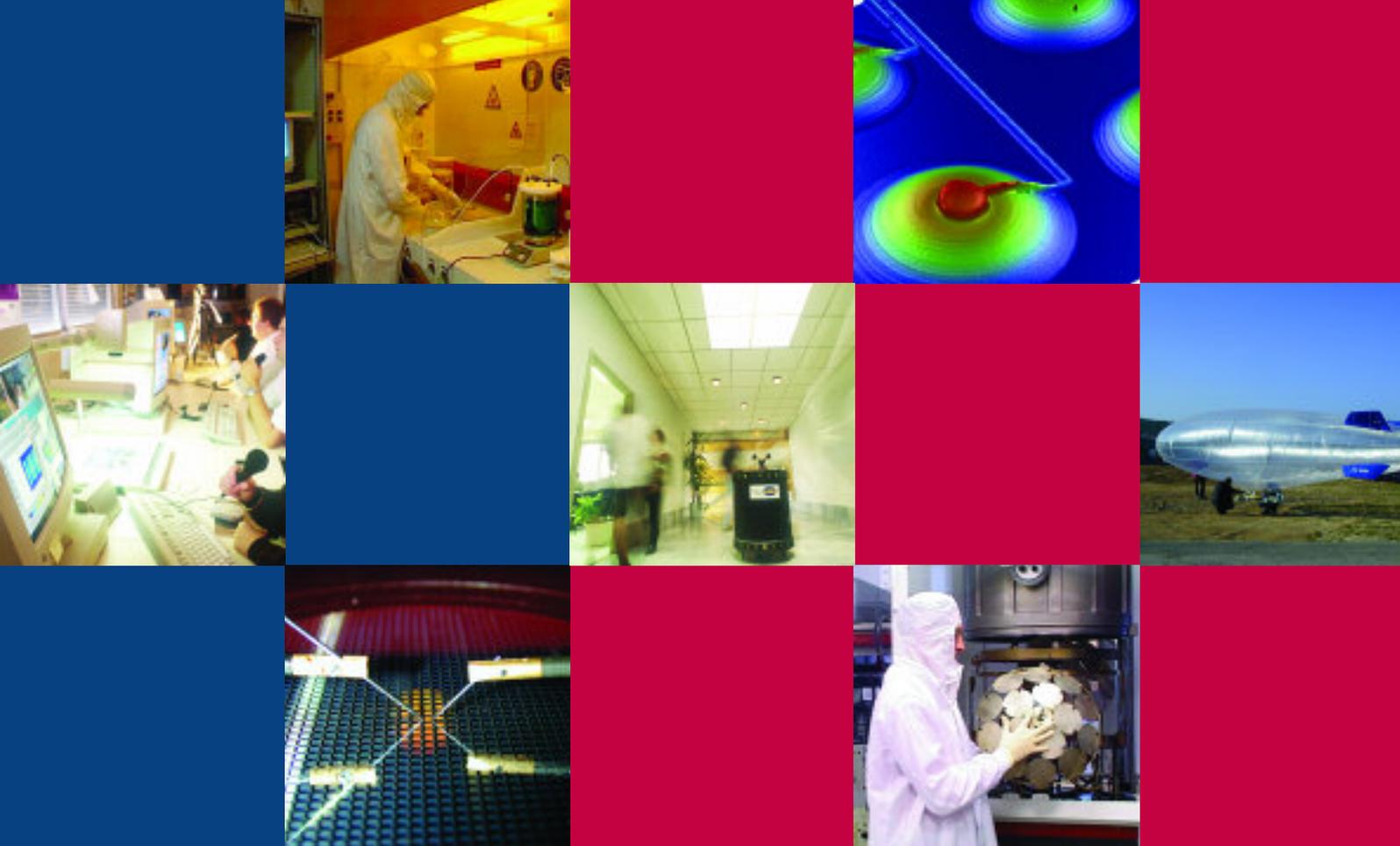
20 RECHERCHE AU SERVICE DE LA SOCIÉTÉ

Partenariats socio-économiques, valorisation, transfert

22 COOPÉRATIONS INTERNATIONALES

24 COLLABORATIONS INTER-DISCIPLINAIRES

Partenariats nationaux et régionaux



GROUPES DE RECHERCHE

- 26 Composants et intégration de puissance
- 28 Composants et intégration de systèmes hyperfréquences pour les télécommunications
- 30 Photonique
- 32 Nanoadressage, nanobiotechnologies
- 34 Technologies, micro et nanostructures
- 36 Microsystèmes et intégration des systèmes
- 38 Ingénierie système et intégration
- 40 Diagnostic, supervision et conduite qualitatifs
- 42 Méthodes et algorithmes en commande
- 44 Modélisation, optimisation et gestion intégrée de systèmes d'activités
- 46 Réseaux et systèmes de télécommunications
- 48 Robotique et intelligence artificielle
- 50 Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique
- 52 Outils logiciels pour la communication

Histoire du Laas

Le LAAS-CNRS a été fondé en juillet 1967 par Jean Lagasse en tant qu'unité propre de recherche du CNRS, étroitement associée à trois établissements universitaires toulousains, l'Université Paul Sabatier, l'Institut national polytechnique, et l'Institut national des sciences appliquées. Créé à partir du Laboratoire de génie électrique de Toulouse, le LAAS s'est positionné d'emblée dans les domaines de la microélectronique, de l'automatique et de l'informatique. Il a participé activement à la naissance et a joué un rôle moteur dans le développement des Sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC). Il est aujourd'hui rattaché au département STIC du CNRS, après avoir été très actif dans la création et le développement du département Sciences pour l'ingénieur, au sein duquel les STIC étaient initialement regroupées au CNRS.

Le LAAS a contribué au développement technologique de Toulouse en tant que pôle mondial de l'aéronautique et de l'espace. Le premier nom du LAAS était d'ailleurs le Laboratoire d'Automatique et de ses Applications Spatiales. Devenu depuis le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes, ses recherches, fondamentales et appliquées, portent sur l'étude de systèmes complexes selon une démarche pluridisciplinaire. Ses travaux contribuent à un très large champ technologique, allant du spatial et des transports aux biotechnologies et aux technologies de la santé, en passant par les télécommunications, l'énergie, la chimie, et les technologies logicielles.

1968



Ouverture du LAAS-CNRS en mai 1968.

1986



Prometheus, programme de recherche sur le véhicule intelligent et travaux sur l'hypovigilance du conducteur.

1976



Ouverture de la première salle blanche vouée à la microélectronique au CNRS.

1979



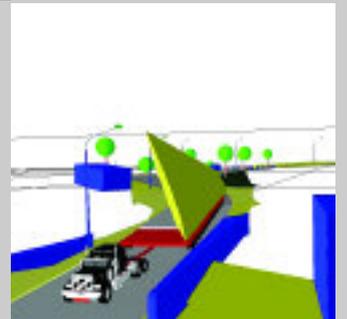
Hilare, premier robot mobile du LAAS.

1974



Système dynamique non-linéaire discret : comportement chaotique.

2001



Kineo, Start-up du LAAS : planification de mouvement en robotique au service du projet Grand itinéraire Airbus 380.

1992



Création du LIS, laboratoire d'ingénierie de la sûreté de fonctionnement, associant deux entreprises leaders dans leurs domaines respectifs au LAAS. Le LAAS est à l'initiative en France des laboratoires communs entre les mondes académique et industriel.



Projet scientifique

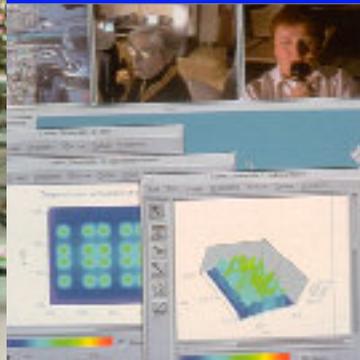
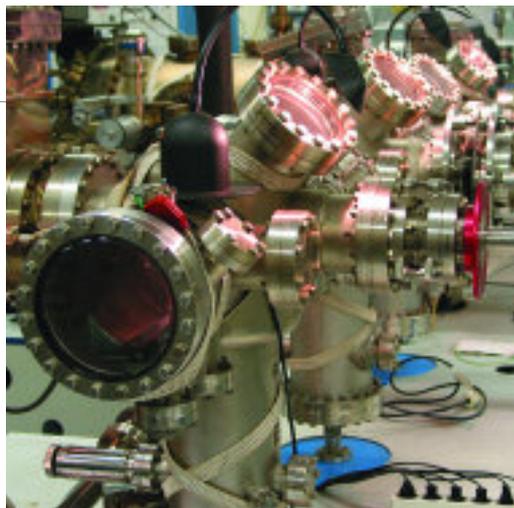
L'apport fondamental des STIC se décline en de nouvelles représentations, en des méthodes analytiques et des modèles originaux. Il se concrétise également et surtout par de nouvelles possibilités conjuguant diverses méthodes analytiques selon des approches intégratives et systémiques.

Le LAAS contribue au développement des STIC en privilégiant une vision système, car les défis scientifiques et sociétaux d'aujourd'hui portent sur des systèmes naturels ou artificiels de grande complexité qui ne peuvent être abordés par des approches réductrices.

Le laboratoire développe des démarches cohérentes pour comprendre, concevoir et maîtriser des systèmes complexes mettant en œuvre des représentations mathématiques hétérogènes et des modèles multiples et partiels, des systèmes ouverts, en interaction avec l'extérieur, avec l'Homme, et avec d'autres systèmes. Ses travaux portent sur la modélisation, la conception, le prototypage virtuel, la réalisation, l'intégration, ou la conduite de systèmes complexes selon des exigences de prédictibilité, de performance, de coût, de sûreté, et de fiabilité.

Le LAAS s'intéresse principalement à quatre classes de systèmes, au travers de ses quatre pôles thématiques de recherche :

- **Le pôle Micro et nanosystèmes (MINAS)**, dont les travaux portent sur les technologies, la conception et la modélisation de micros et nanosystèmes pour l'information et la communication, pour la gestion de l'énergie électrique, et pour la chimie et les sciences du vivant ;
- **Le pôle Modélisation, optimisation et conduite des systèmes (MOCOSY)**, qui traite en particulier des systèmes aéronauti-



ques et spatiaux, biotechnologiques, de télécommunication, ou de production ;

- **Le pôle Robots et systèmes autonomes (ROSA)** qui étudie des fonctions sensorimotrices, de perception, d'interprétation, de décision et d'action, et l'intégration de ces fonctions en des architectures cognitives ;

- **Le pôle Systèmes informatiques critiques (SINC)** qui s'intéresse aux architectures et protocoles de communication, aux réseaux à qualité de service, à leur métrologie et à la coopération multimédia, à la tolérance aux fautes et à la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques.

Le LAAS aborde l'étude de ces systèmes complexes selon une démarche pluridisciplinaire. Il s'agit en premier lieu d'intégrations fructueuses de thématiques scientifiques à la jonction de la microélectronique, de l'informatique, de l'automatique, ou du traitement

du signal, les disciplines de base des STIC. Par ailleurs, de nombreux projets de recherche du LAAS mettent en œuvre des collaborations avec d'autres champs scientifiques : mathématiques, physique, chimie, sciences de la vie, sciences de l'univers, sciences pour l'ingénieur ou sciences humaines et sociales. A titre d'exemple, les travaux du LAAS en interaction avec les sciences de la vie portent sur les micro et nanobiotechnologies (nanoadressage, biopuces, microfluidique), la bioinformatique et les bio-mathématiques (modélisation et dynamique des bioprocédés, algorithmique des interactions biochimiques), la robotique et l'imagerie médicales.

Organisation

MISSIONS DU LAAS-CNRS

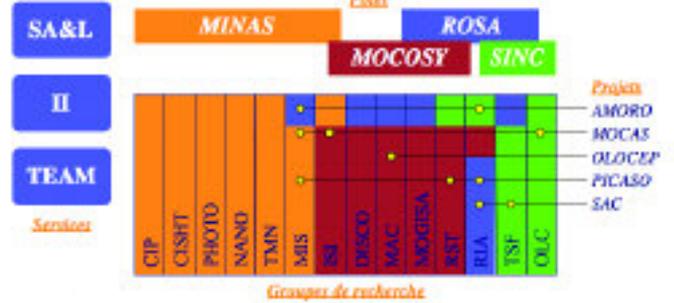
- développement et progrès des connaissances scientifiques
- formation à la recherche et par la recherche
- valorisation des résultats de ses recherches et leur mise en œuvre, notamment pour la résolution des problèmes sociétaux
- vulgarisation et diffusion des connaissances et de la culture scientifique

DIRECTION



CONSEIL DE LABORATOIRE

CONSEIL SCIENTIFIQUE



Aux côtés du directeur, Malik Ghallab, un directeur adjoint, Antonio Munoz Yague et trois sous-directeurs, Michel Diaz, Raja Chatila et Germain Garcia

Les chercheurs du LAAS se répartissent en groupes de recherche autonomes. Les quatre pôles thématiques du laboratoire définissent un recouvrement de ces groupes. Les pôles constituent une structure d'animation et de coordination de la recherche, en particulier via les projets de recherche transversaux du laboratoire. Le personnel technique est réparti en deux ser-

vices techniques et des services administratifs et logistiques de soutien et d'accompagnement de la recherche. Le Conseil scientifique du LAAS, composé des conseils des quatre pôles, élabore la politique et la prospective scientifiques du laboratoire. Le Conseil de laboratoire, qui comprend des membres nommés et des élus représentant les diverses catégories du personnel, a en charge les missions statutaires associées à la vie et à l'organisa-

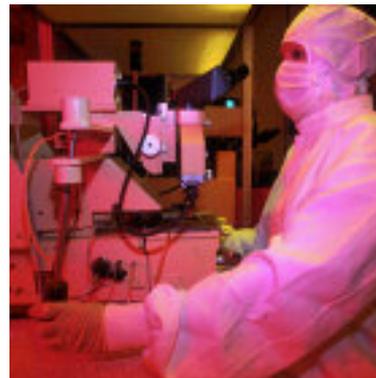
tion du laboratoire.

L'équipe de direction du LAAS comporte, aux côtés du directeur, un directeur adjoint et trois sous-directeurs responsables des quatre pôles. Une équipe de direction élargie à des chargés de mission et aux responsables des services techniques et des groupes de recherche assiste la direction dans les tâches de gestion du laboratoire.



Pôle Micro et nano systèmes

Les thématiques du Pôle Micro et nanosystème, MINAS, impliquent environ 70 cadres scientifiques du LAAS et autant de doctorants distribués dans six groupes de recherche.



Fabrication et test de composants et de microsystèmes

Les travaux du LAAS en micro et nanosystèmes couvrent trois volets :

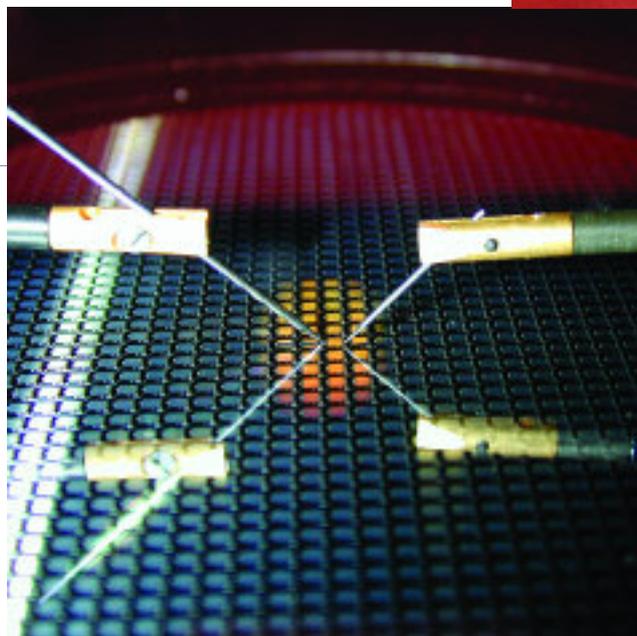
- **processus technologiques**, avec la physico-chimie associée à ces procédés aux échelles micro et nanométriques, les propriétés élémentaires des matériaux et des interfaces, ainsi que les problèmes liés à l'intégration, en incluant des exigences de faisabilité, reproductibilité et fiabilité,

- **processus physiques** dans les structures et les composants, limites de performances, avec la prise en compte de mécanismes couplés et des interactions avec l'environnement,

- **modélisation et conception de composants et de microsystèmes** devant s'intégrer dans un système pour assurer une fonction globale, en étroite liaison avec la réalisation technologique de dispositifs de test et de prototypes de laboratoire pour la validation.

Ces travaux, dont les motivations générales sont l'intégration de matériaux, technologies et fonctions, la réduction des dimensions et la réalisation de nouvelles fonctions, peuvent être décrits selon trois grands champs de mise en œuvre :

- **Les micro et nanosystèmes pour l'information et la communication.** Dans les filières technologiques Si et GaAs, on trouve la réalisation et l'intégration dans des compo-



sants de structures micro et nanométriques telles que les couches diélectriques et jonctions ultraminces, les hétérostructures à puits ou boîtes quantiques, les structures diffractives et cristaux photoniques et les structures suspendues pour la propagation électromagnétique.

- **Les micro et nanosystèmes pour la gestion de l'énergie.** Il s'agit d'améliorer les performances et les fonctions des composants électroniques de puissance, d'intégrer la commande et la protection vis-à-vis des surcharges, des décharges électrostatiques, etc. De nouveaux matériaux (magnétiques, ferroélectriques,...) et les technologies d'assemblage associées sont également considérés pour la réalisation d'éléments passifs (inductances et capacités) dans une perspective d'intégration 3D des cellules de commutation.

- **Les micro et nanosystèmes pour la physique, la chimie et les sciences du vivant.** Les travaux portent ici sur les capteurs utilisant des composants microélectroniques, les biodétecteurs à base de MEMS et de nanodispositifs, les fonctions de la microfluidique et leur intégration, ainsi que les structures de nanoadressage. Les objectifs généraux sont le développement de capteurs chimiques ou biologiques pour l'analyse ou le suivi de processus, de laboratoires sur puce et de biopuces, et de supports pour l'adressage et l'étude d'objets de taille nanométrique.



Pôle Modélisation, optimisation et conduite des systèmes

Les thématiques de recherche du pôle Modélisation, optimisation et conduite des systèmes, MOCOSY, mobilisent une cinquantaine de cadres scientifiques et autant de doctorats au sein de cinq groupes de recherche.

Les travaux du pôle MOCOSY portent sur la modélisation et l'analyse des systèmes complexes ainsi que sur le contrôle et l'optimisation de ces systèmes. On s'intéresse à des systèmes biotechnologiques, écologiques, aéronautiques et spatiaux, de télécommunications de production et d'activités, pour ne citer que l'essentiel. Les principaux problèmes rencontrés sont liés pour la plupart à la complexité induite par les phénomènes mis en jeu, souvent imparfaitement modélisés et par la répartition, l'hétérogénéité et le nombre des diverses composantes du système. Les actions de conduite de tels systèmes sont également diverses et dépendent du niveau auquel on se place, entraînant de ce fait, des visions très différentes d'un même système et conduisant à l'utilisation de techniques variées qui s'intègrent dans des



Domaine spatial

structures de contrôle/commande hiérarchisées et/ou distribuées. Les axes de recherche du pôle MOCOSY se concentrent sur les thèmes suivants :

■ **Modélisation** : les travaux portent sur la prise en compte de l'incertitude de modélisation et sur le développement de modèles spécifiques pour la simulation, pour la commande, pour le diagnostic et la supervision.

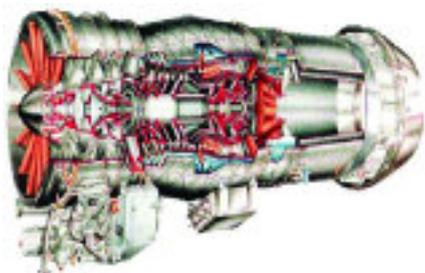
■ **Optimisation** : les travaux originaux en optimisation globale et discrète, en programmation semi-définie ou s'appuyant sur les techniques de propagation de contraintes sont développés, ainsi que les techniques algorithmiques sous-jacentes.

■ **Commande** : des résultats significatifs ont été obtenus dans le domaine de la commande robuste, la prise en compte de non-linéarités liées aux imperfections et limitations des actionneurs et des capteurs, ou leur spécificité comme c'est le cas dans la commande orientée vision.

■ **Estimation et filtrage** : en particulier dans le domaine du filtrage non linéaire. Depuis quelques années, l'utilisation des techniques particulières a permis d'apporter des réponses satisfaisantes à un certain nombre de problèmes réputés difficiles (sonar, radar, etc).

■ **Surveillance, supervision et diagnostic** : diagnostic à base de modèles et/ou à base de données, utilisation de modèles qualitatifs, hybrides, utilisation de la logique floue. Des approches IA sont également mises en œuvre.

Les thèmes décrits brièvement dans ce qui précède, fédèrent une part des activités de recherche développées dans les cinq groupes de recherche suivants : DISCO, MAC, MOGISA, RIA, RST. Les résultats développés dans un cadre fondamental ou appliqué conduisent à de multiples réalisations le plus souvent logicielles. Les collaborations touchent les secteurs : aéronautique et spatial, automobile et transports, réseaux de télécommunications, défense, médical, etc. Le pôle participe activement aux programmes de recherche nationaux et internationaux, en particulier européens.



Commande de turbo-réacteur

Pôle Robots et systèmes autonomes

Le pôle Robots et systèmes autonomes, ROSA, recouvre les thématiques de recherche du laboratoire relatives aux systèmes autonomes, du micro-système au grand système intégré ou distribué. Cette problématique est très large. Le pôle a ainsi vocation à une transdisciplinarité permettant de développer des travaux en synergie entre plusieurs groupes du laboratoire, chacun apportant son propre éclairage.

Les grandes thématiques des systèmes autonomes qui sont abordées sont :

■ **Les fonctions sensori-motrices et cognitives** : perception, décision, apprentissage, ainsi que leur architecture.

■ **Les propriétés critiques** : temps-réel, sûreté, robustesse.

■ **L'interaction et la coopération** entre systèmes ou avec l'utilisateur.

Le pôle fédère les activités des groupes DISCO, MAC, MIS, MOGISA, RIA, RST et TSF sur des problèmes très divers qui peuvent bénéficier d'une approche commune, tels que :

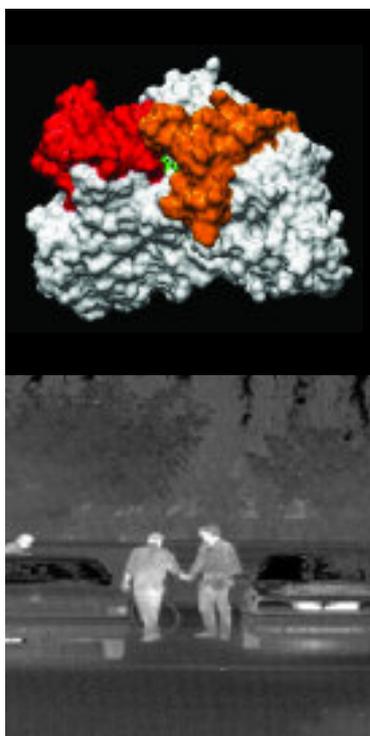
■ La tolérance aux fautes dans les systèmes robotisés. Il s'agit de l'étude d'architectures sûres de fonctionnement pour des systèmes autonomes critiques tels que les robots d'intervention ou d'exploration, ou les satellites autonomes, ou des robots agissant en présence de l'homme, en exploitant et développant des méthodes pour la tolérance vis-à-vis des fautes de conception au niveau décisionnel.

■ La modélisation prédictive des interactions entre grosses molécules de type biologique et biochimique mariant des techniques de mécanique/dynamique moléculaire et des techniques en algorithmique du mouvement pour la robotique.

■ L'intégration de caméras multi spectrales

basée sur les architectures de composants type «System On Chip» et la fusion de leurs données, ce qui exige des travaux en traitement du signal et de l'image.

■ La définition de méthodes et d'outils de conception des Systèmes et Micro-systèmes.



L'interaction Homme-robot exige des systèmes fiables, adaptatifs et sûrs de fonctionnement

Modélisation d'interactions moléculaires

Vues infrarouge et lumière visible

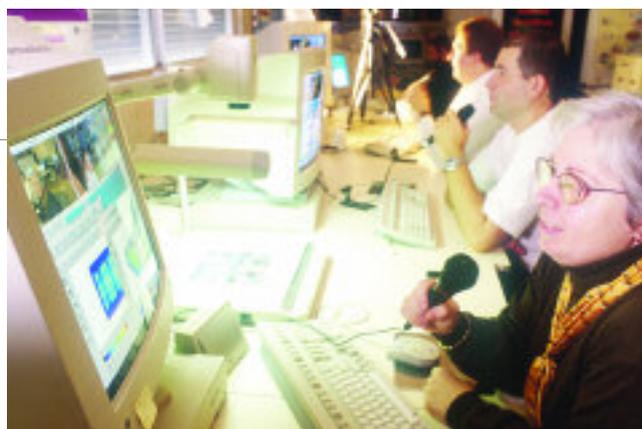
Pôle Systèmes informatiques critiques

Les thèmes de recherche du pôle Systèmes informatiques critiques, SINC, portent sur la conception d'architectures informatiques qui doivent satisfaire des propriétés fortes imposées par des applications contraintes. Ces propriétés s'expriment par un ensemble d'exigences, pouvant s'avérer antagonistes, définies en termes de contraintes temporelles, de sécurité, de qualité, de tolérance aux fautes et de fonctionnement coopératif.

La méthodologie de conception doit gérer l'ensemble de ces contraintes et permettre de montrer que les exigences ainsi définies seront satisfaites par le système conçu. Elle implique de réaliser un ensemble de composants fortement distribués à partir d'une méthodologie rigoureuse. Le pôle SINC fédère les recherches des groupes OLC et TSF et celles liées aux réalisations des systèmes informatiques critiques dans les groupes RST et RIA.

Les recherches du pôle concernent en particulier :

- l'architecture du système et de ses spécifications,
- la description formelle de ses comporte-



L'environnement multimédia Platine

- ments, à la fois en termes de performance et de sûreté de fonctionnement,
- la validation des propriétés obtenues et leur adéquation aux exigences fournies,
- l'implémentation sur des environnements cibles,
- l'évaluation par la modélisation stochastique et la métrologie.

Ces travaux incluent des recherches sur :

- les réseaux et les systèmes distribués, avec leurs aspects topologiques et compositionnels, tant au niveau des concepts que des architectures de communication et de coopération ;
- la sûreté de fonctionnement, incluant les défaillances physiques, les erreurs logicielles et les intrusions, tant en termes d'architectures et d'algorithmes pour la tolérance aux fautes, que de test et d'évaluation, analytique et expérimentale.

Les thématiques du pôle sont soutenues par une activité contractuelle importante menée en liaison étroite avec de nombreux

organismes publics et industriels tels que Alcatel Space, EADS, France Telecom R&D, Airbus, Astrium, Electricité de France, Rockwell Collins, Siemens, Technicatome, REALIX, SILOGIC, Thales. A ce titre, le Réseau d'Ingénierie de la Sûreté de fonctionnement (RIS) qui prolonge la coopération initiée au sein du laboratoire commun LIS (Laboratoire d'IS), est un exemple de collaboration longue durée pour les systèmes critiques à logiciel prépondérant. Le pôle participe à de nombreuses actions nationales et internationales et à de nombreux projets dans les réseaux nationaux et les programmes européens.

Soulignons enfin que ces travaux incluent la réalisation de plates-formes qui portent sur la télé-formation, la télé-ingénierie, la gestion des ressources, la tolérance aux fautes, les schémas d'autorisation pour l'Internet, les réseaux hétérogènes WIFI-Satellite-Filaire, et la métrologie. Ces plates-formes sont développées afin de montrer le réalisme des recherches et la validité des propositions du pôle.



Technologie de la sûreté de fonctionnement du LAAS dans le métro de New York

Service Informatique et instrumentation

Le service Informatique et Instrumentation (II) appuie les travaux de recherche du laboratoire dans les domaines de l'informatique, l'électronique, l'optique, la mécanique et l'instrumentation. Il gère les moyens informatiques du laboratoire, ainsi qu'un atelier d'électronique et un atelier de mécanique. Il assure la gestion et le support technique du centre de caractérisation microélectronique du LAAS.

Les moyens informatiques du LAAS comportent un parc de postes de travail individuels (stations Unix, PC et Macintosh) et un ensemble de serveurs couvrant toutes les fonctions centralisables (stockage, sauvegarde, base de données, mail, web, etc.) organisés autour d'un réseau Ethernet-TCP/IP. Le service gère ces moyens matériels et logiciels, assure la continuité de leur bon fonctionnement et élabore les plans d'équipement. Les dépannages de premier niveau, notamment sur le réseau et sur les stations de travail, sont réalisés en interne. La formation et l'assistance aux 500 utilisateurs sont des tâches essentielles du service. Les grandes orientations d'équipement et les affectations budgétaires sont décidées au niveau de la direction, mais chaque groupe reste libre de ses choix dans le cadre d'un schéma directeur souple.

SOUTIEN À LA RECHERCHE

Le service informatique et instrumentation dispose d'un potentiel de soutien direct de 27 ingénieurs et techniciens, qui participent chaque année à une moyenne de 30 projets de recherche. Parmi les réalisations ou participations marquantes du service, on peut citer :

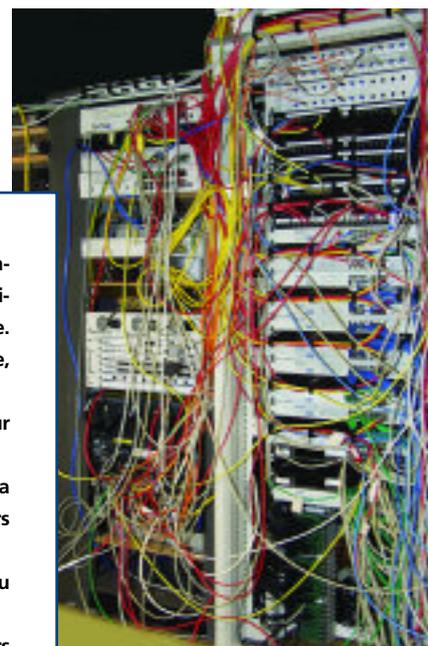
- le logiciel GenoM de génération automatique de modules pour l'informatique embarquée des robots,
- les électroniques rapprochées pour microsystèmes de la caméra laser tridimensionnelle Tridicam, ou pour microleviers piézo-résistifs,
- les centrales photovoltaïques de la Mairie de Barcelone et du Musée des sciences de Terrassa,
- l'électronique numérique de prédistorion pour amplificateurs de télécommunications,
- l'ensemble de la mécanique du premier prototype du robot médical Endoxirob,
- la plate-forme de télé-ingénierie coopérative Platine.

L'atelier d'électronique assure les activités de maquettage, de câblage et de conception de circuits imprimés, ainsi que l'encadrement associé à des postes de travail en libre-service. L'atelier de mécanique assure l'ensemble des réalisations mécaniques du laboratoire ; son évolution récente le conduit vers la réalisation de pièces de haute précision pour les micro-systèmes et la robotique.

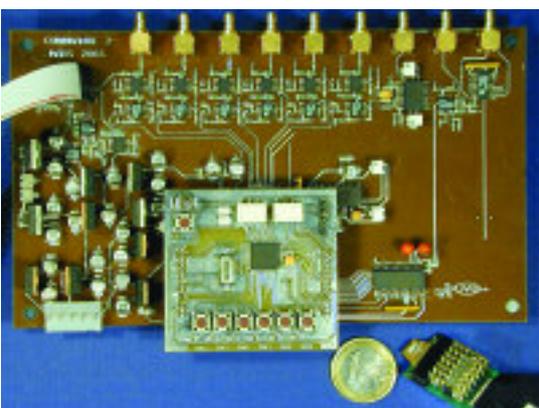
Le centre de caractérisation regroupe l'ensemble des moyens de caractérisation physique, optique, et microélectronique des composants et microsystèmes du laboratoire. Le service maintient les équipements et assure le développement de nouveaux bancs de mesure et de nouvelles expérimentations.

Le service participe aux grandes actions de

recherche menées au LAAS par l'affectation, décidée sur un rythme annuel, d'ingénieurs et de techniciens à des projets. Cinquante à soixante projets sont soumis annuellement ; le soutien du service à ces demandes est défini par une commission (Com2I) présidée par le directeur. Le service offre des capacités d'intervention directe, de conseil et d'encadrement technique dans les domaines de l'informatique, de l'électronique, de l'optique, de la mécanique et de l'instrumentation.



Le coeur du réseau du Laas



Electronique rapprochée par microleviers

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS

Service Techniques et équipements appliqués à la microélectronique

Le service Techniques et équipements appliqués à la microélectronique (TEAM) soutient les activités de recherche du laboratoire dans les domaines de la microélectronique, de l'optoélectronique, des capteurs et des micro et nanosystèmes, qui sont les principaux thèmes de recherche du pôle MINAS. L'affectation des ingénieurs et techniciens sur des projets et le bilan des activités sont examinés par une commission (ComTEAM), présidée par le directeur du laboratoire.

En dehors des actions de support à la recherche du LAAS, ce service remplit une mission de soutien à des équipes extérieures au laboratoire, au niveau national (activité de centre d'accueil et de plateforme technologique) et européen (programme IMPACT d'accès aux grandes installations).

Les moyens sont répartis dans 500 m² de salles blanches (en classe 10 000 et 100) au sein de 12 zones technologiques :

ZONE DES FOURS :

17 réacteurs permettent des opérations d'oxydation, diffusion, recuits de métaux, de polyimides et de dépôts LPCVD ou PECVD.

ZONE MÉTALLISATION :

6 bâtis de dépôts de couches minces métalliques adaptés à l'élaboration de contacts et de couches spécifiques.

ZONE ÉPITAXIE PAR JETS MOLÉCULAIRES :

2 bâtis RIBER 3200 et 2300 dont un est affecté à la réalisation de dispositifs tels que des diodes laser ou des VCSEIs et l'autre à des dispositifs à base de fluorures.

ZONE GRAVURE SÈCHE PAR PLASMA :

6 équipements de gravure plasma spécialisés dans la gravure de matériaux du type III-V, des oxydes et des nitrures de silicium et du silicium en couches minces ou épaisses.

ZONE DE FABRICATION DE MASQUES :

Plus de 400 niveaux sont actuellement réalisés grâce à des moyens de CAO et un équipement de génération optique de motifs

et de photorépétition.

ZONE DE

PHOTOLITHOGRAPHIE :

4 machines d'alignement de masques, simple et double face, des tournettes et des plaques pour la cuisson, utilisées pour la mise en oeuvre des résines de faible ou de forte épaisseur.

ZONE

NANOTECHNOLOGIE :

Elle regroupe un microscope électronique à transmission, adapté pour l'écriture par faisceau d'électrons, un équipement de dépôts de métaux et une machine de micro impression.

ZONE ÉLECTROCHIMIE :

Elle permet des dépôts de Cuivre, Or, Plomb et Fer-Nickel, qui entrent dans la réalisation d'inductances et de tous les dispositifs hyperfréquence sur membrane.

ZONE CHIMIE :

Cette zone est constituée des postes de chimie de nettoyage RCA, d'attaques chimiques anisotropes KOH et TMAH, ainsi que les sorbonnes.

ZONE IMPLANTATION IONIQUE :

Elle est équipée d'un implanteur d'ions EATON moyen courant et de 200KV.



1- Salle de photolithographie

2- Postes de dépôts électrochimiques

3- Machine de gravure profonde de Silicium

4- Bâti de dépôts métalliques

ZONE ASSEMBLAGE :

Des équipements de découpe, de collage et de microsoudure de fils par ultra-sons, thermo-compression, ball bonding, sont complétés par une machine de report flip chip.

ZONE CARACTÉRISATION :

Elle rassemble des moyens tels que la microscopie électronique à balayage, à force atomique, l'ellipsométrie, la profilométrie mécanique et optique et la microscopie optique.

Services administratifs et logistiques

L'organisation et l'infrastructure du LAAS s'appuient sur 6 services administratifs et logistiques, prolongés par les secrétariats des pôles et des groupes de recherches et les assistantes de l'équipe de direction.

Service Gestion qui assure la gestion comptable et financière, l'élaboration et le suivi du budget prévisionnel, la gestion des relations contractuelles et celle du magasin ;

Service du Personnel qui gère les ressources humaines du laboratoire, en particulier les dossiers administratifs et de carrière des diverses catégories du personnel permanent et temporaire, ainsi que la formation permanente et l'accueil des visiteurs ;

Service Relations extérieures et communication qui anime les partenariats nationaux et internationaux du laboratoire, le Club des affiliés du LAAS, les activités de communication et d'organisation de colloques ;

Service Systèmes d'information qui élabore et maintient ses supports d'information, principalement le site web du LAAS et les sites hébergés de colloques, de programmes et de groupements de recherche ainsi que les bases de données nécessaires aux services administratifs du laboratoire ;



FORMATION

Depuis son 1^{er} plan de formation, élaboré en 1994, le LAAS est inscrit dans une démarche active de formation permanente qui se décline en deux volets :

- Une offre de formation interne avec chaque année des modules de formations proposées par le personnel du laboratoire et de nombreux séminaires internes,
- Une demande de formation importante satisfaite par l'inscription des personnels du LAAS à des formations proposées par le CNRS, des formations à l'extérieur de l'établissement financées par le CNRS ou le laboratoire, et enfin l'organisation de formations in-situ correspondant à des besoins très spécifiques.

The logo for LAAS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes) is written in a stylized, cursive blue font.

DOCUMENTATION

La documentation comprend une bibliothèque dont le fonds est composé actuellement de 3500 ouvrages environ, 436 revues scientifiques (286 abonnements vivants) et plus de 10000 rapports de recherche. Par sa collaboration avec les services communs de la documentation de l'Université Paul Sabatier, la documentation du LAAS est membre du consortium Couperin et offre ainsi un accès électronique en texte intégral à plus de 3000 revues scientifiques. Le service offre un soutien technique à la recherche documentaire, via les bases de données de l'INIST et assure l'ensemble des acquisitions et des prêts d'ouvrages ou d'articles.

Le service gère, archive et diffuse les publications du laboratoire : près de 700 entrées par an et 2000 diffusions dans le monde. Il maintient les bases de données de la bibliothèque (ouvrages, revues et publications) et gère leur accès par le Web.

L'équipe édition assure la conception (PAO et infographie) et la reproduction de documents (supports de présentations, affiches, etc.), et réalise environ 2 millions de tirages par an.

L'atelier audiovisuel intervient dans la réalisation de prises de vue, le montage et l'édition de documents scientifiques audiovisuels ainsi que la création de présentations animées interactives pour le site web du laboratoire.

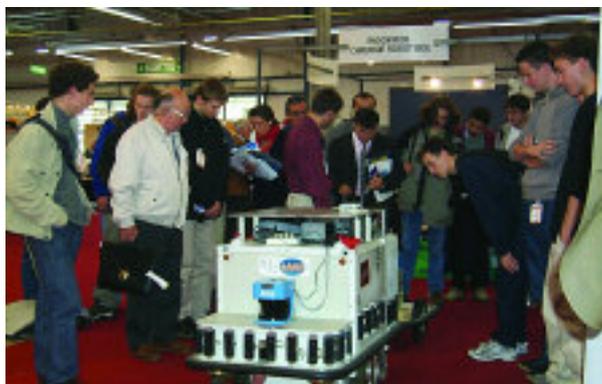


Service Documentation - édition

qui gère l'ensemble des publications du laboratoire, sa documentation scientifique et ses recherches documentaires, et qui effectue ses réalisations audiovisuelles et ses travaux d'infographie, d'édition et de tirage ;

Service Entretien et logistique qui est responsable du gardiennage, nettoyage, entretien, maintenance, suivi des travaux d'infrastructure des 5 bâtiments du LAAS sur plus de 18000m2 et 3 hectares d'espace vert et de parking.

Ces services coordonnent étroitement leurs activités avec les services administratifs de la Délégation régionale Midi-Pyrénées du CNRS et leur apportent une aide pour le traitement des dossiers du LAAS. Par ailleurs ces services sont également impliqués dans diverses actions nationales, par exemple au niveau de la coordination des actions européennes, ou au niveau de la direction des systèmes d'information du CNRS.



Une politique de communication avec les partenaires, la presse et le public

COMMUNICATION

La vulgarisation et la diffusion des connaissances et de la culture scientifique sont l'une des quatre missions du CNRS. Le LAAS a été un précurseur en matière de communication, éditant brochures et plaquettes, célébrant ses anniversaires, entretenant ou suscitant des relations avec ses partenaires institutionnels, académiques et industriels, la presse et le public, ouvrant régulièrement ses portes au grand public, lançant sa lettre d'information etc. Cette politique volontariste de communication n'est pas étrangère au rayonnement du LAAS aujourd'hui. Le LAAS organise une quinzaine de congrès chaque année, son Club des affiliés (voir encadré page 21) compte 45 entreprises membres, la Lettre du LAAS, publication trimestrielle, est adressée à 4000 abonnés.

Recherche et formation

La formation à la recherche et par la recherche est une des principales missions du laboratoire. Son activité sur ce plan se concrétise en particulier dans les formations doctorales et de 3^{ème} cycle. Ainsi, près de 1200 thèses ont été soutenues au LAAS depuis sa création. Aujourd'hui, de l'ordre de 10% des doctorats en sciences délivrés par des établissements toulousains ont été préparés au LAAS.



Le laboratoire anime deux écoles doctorales :

- L'école doctorale Génie électrique, électronique et télécommunication (GEET) dont les formations portent sur les matériaux, technologies et composants, la microélectronique et les microsystèmes, les micro-ondes et télécommunications optiques, le génie électrique, les plasmas et décharges, la radiophysique et l'imagerie médicale ;

- L'école doctorale Systèmes (EdSys) dont les formations couvrent les systèmes automatiques, les systèmes informatiques et les systèmes industriels.

Le LAAS est également laboratoire d'accueil de trois autres écoles doctorales. Ses membres participent à des formations de 3^{ème} cycle au sein d'une douzaine de DEA et de DESS. Près de 250 stagiaires sont accueillis chaque année au laboratoire.

Le LAAS est étroitement associé à trois établissements universitaires : l'Université Paul Sabatier, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse et l'Institut National

Polytechnique de Toulouse. La majorité des chercheurs permanents du laboratoire (autour de 55%) sont des enseignants-chercheurs de ces trois établissements. Plusieurs y jouent des rôles de direction et d'animation essentiels : présidence et vice-présidence de l'UPS, présidence du conseil scientifique de l'INSA, de conseils scientifiques d'UFR, directions de départements, etc. Le LAAS entretient également des relations de partenariat avec plusieurs autres grandes écoles d'ingénieurs, dont SUPAERO, l'ENSICA et l'ENAC.

Sur le plan organisationnel, la commission Enseignement et recherche du laboratoire suit de façon permanente les problèmes liés aux activités d'enseignement des membres du laboratoire, ainsi que ses relations avec les établissements d'enseignement supérieur partenaires. Cette commission apporte en particulier un appui aux dossiers de demande de semestres sabbatiques et de délégation au CNRS. Elle coordonne une réflexion sur

ANNUAIRE DES DOCTEURS DU LAAS

Depuis 1968, près de 1200 thèses ont été soutenues dans le cadre du LAAS, répertoriées dans l'annuaire des docteurs du LAAS régulièrement remis à jour. Dans les années 70, 15 à 20 thèses étaient soutenues chaque année. Les promotions d'aujourd'hui sont de 40 à 50. Faire une thèse, c'est passer trois ans dans une communauté où l'on fait l'apprentissage du travail en équipe, où l'on développe son esprit de synthèse, où l'on doit faire preuve d'autonomie intellectuelle et on l'on a déjà à se positionner dans une communauté internationale très exigeante. Environ la moitié des docteurs du LAAS a rejoint la recherche académique ou l'enseignement, l'autre moitié l'industrie. Le quart d'entre eux est actif dans 40 pays différents.

la carte des enseignements des STIC à Toulouse et sur l'organisation des cursus. En collaboration avec une antenne de l'association Bernard Gregory au LAAS, un fort soutien à l'insertion professionnelle après thèse, y compris par des formations complémentaires et des visites d'entreprises, est apporté par le laboratoire à ses doctorants.

Recherche au service de la société socio-économiques, valorisation,

Le LAAS est un acteur socio-économique important dans son environnement géographique et technologique. Il entretient de nombreux partenariats industriels dans le cadre de laboratoires communs recherche-industrie, de conventions bilatérales, ou de projets collaboratifs de R&D, nationaux ou européens. Il mène des actions de valorisation et de transfert, y compris via la création d'entreprises innovantes.

Au cours des trois dernières années trois jeunes pousses ont été créées par la valorisation des travaux du laboratoire. Il s'agit de :

- KINEO Computer Aided Motion, dans le domaine de la planification de mouvement en CAO et animation graphique ;
- NEOSSENS, dans le domaine des capteurs chimiques ;
- QoS Design, dans le domaine des logiciels de simulation et d'optimisation des réseaux de télécommunication.

Par ailleurs, une trentaine de brevets ont été déposés en partenariat avec des entreprises au cours des dix dernières années ; 40 demandes d'ouverture de dossiers de valorisation ont été enregistrées au cours de la même période, dont 4 concernant des créations d'entreprise.

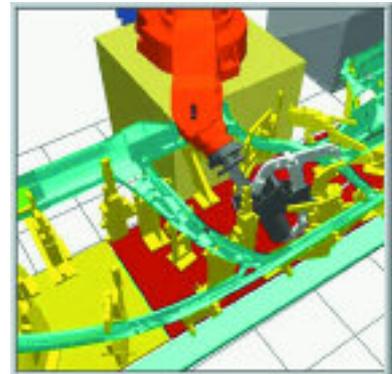
Des structures de type laboratoires communs et réseaux coopératifs offrent un cadre particulièrement propice de partenariat avec des entreprises sur des projets convergents d'envergure. Ainsi, le LAAS est partenaire des laboratoires communs suivants :

- Le laboratoire SMARTMOS (LCIP2) avec Motorola sur l'intégration de puissance ;
- Le laboratoire PEARL avec Alstom sur l'électronique de puissance ;
- Le laboratoire AUTO-DIAG, en cours de finalisation avec ACTIA sur le diagnostic automobile ;

- Le réseau RIS, avec Airbus, Astrium, Technicatome et Thales sur la sûreté de fonctionnement des systèmes critiques à logiciel prépondérant.
- Le LAAS est également Pôle externe de recherche de la SNECMA sur des problèmes de commande et de supervision de réacteurs d'avions.

Le partenariat du LAAS se traduit également par une soixantaine de contrats industriels bilatéraux de R&D et une trentaine de conventions CIFRE qui sont en moyenne actifs à un moment donné. A ces relations bilatérales se rajoutent les partenariats industriels dans le cadre de projets soutenus par les réseaux nationaux d'innovation technologique ou par les programmes européens. Ainsi, au titre des réseaux RNRT, RNTL, RNMT et RNTS une trentaine de projets sont en moyenne en cours.

Par ailleurs, le LAAS entretient un partenariat privilégié avec le Groupement d'Innovation Pour l'Industrie (GIPI) et avec l'association JESSICA qui mène une mission nationale d'appui technique aux PME-PMI pour introduire ou à faire évoluer l'électronique dans leurs produits. Ces deux associations, très présentes dans le tissu des PME-PMI de Midi-Pyrénées, sont domiciliées au LAAS. Les membres du Club des Affiliés sont systématiquement conviés aux Journées de formation et aux manifestations organisées par le GIPI, JESSICA, ou conjointement organisées par le Club avec elles.



KINEO

Kineo CAM (www.kineocam.com) commercialise des solutions logicielles dédiées au calcul automatique de trajectoires sans collision pour des artefacts 3D (pièces mécaniques, véhicules, robots, personnages) évoluant dans des environnements virtuels. Implanté dans les secteurs du PLM, du graphique et de la robotique, son produit KineoWorks est un composant compatible avec les principaux progiciels du marché.

té : partenariats transfert

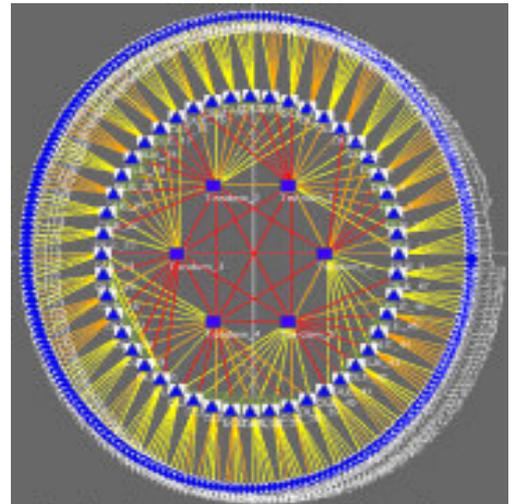
CLUB DES AFFILIÉS

Le LAAS a créé en janvier 1990 un Club des Affiliés (Association loi 1901) qui est une structure d'intelligence scientifique et technologique au service des entreprises membres du club.

Ces entreprises, majoritairement localisées sur le territoire régional, oeuvrent dans des secteurs d'activités qui s'inscrivent dans le prolongement des recherches amont effectuées au LAAS sur l'ensemble du spectre des Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication. L'objectif du Club des Affiliés du LAAS-CNRS est de créer un carrefour d'échanges entre décideurs de la région en leur donnant un accès privilégié aux avancées scientifiques réalisées au LAAS. Fonctionnant sur le principe de l'adhésion, les entreprises membres du club bénéficient de services privilégiés et stratégiques.

Cette association offre différents services parmi lesquels :

- L'organisation de séminaires de veille scientifique présentés par des chercheurs confirmés, de journées de travail et de formation scientifique, technique, ou technologique ;
- La participation aux colloques organisés par les chercheurs du LAAS, aux séminaires du LAAS et aux soutenances de thèses et d'habilitations à diriger des recherches ;
- L'information sur les appels d'offres nationaux, européens et internationaux de R&D et l'aide au montage de projets coopératifs en réponse à ces appels ;
- Une activité de conseil scientifique et technologique ;
- L'aide à la documentation scientifique, en particulier via l'accès permanent à la bibliothèque du LAAS et aux fonds documentaires nationaux ;
- L'accès direct aux publications du LAAS, aux mémoires, thèses et rapports de recherche.



QOS DESIGN

QoS Design industrialise le logiciel NEST de simulation, d'aide à la gestion et d'estimation précise la qualité de service de réseaux de télécommunication de troisième génération. NEST repose sur une technologie simulation hybride - modèles différentiels et événementiels - et intègre des outils d'optimisation et de design de politiques performantes de routage sécurisé et de dimensionnement des équipements et de la topologie des réseaux.

NEOSENS

La Société Néosens, start-up du LAAS créée en Juin 2001, a été Lauréate du Concours National de Création d'Entreprises de Technologies Innovantes. La jeune société commercialise les capteurs d'oxygène dissous développés au LAAS, en technologie microsysteme. Le premier marché visé est celui de l'environnement et de la qualité de l'eau.



Le logo du LAAS, écrit en une écriture cursive bleue.

Coopérations internationales

Le LAAS participe à de nombreuses actions de coopérations internationales, tant bilatérales que collaboratives, qui contribuent au rayonnement du laboratoire et concourent au développement de la recherche et de la mobilité internationale des chercheurs.

Ces actions s'inscrivent dans le cadre des programmes internationaux des ministères de la recherche ou des affaires étrangères, des programmes du CNRS ou d'autres organismes publics, et des programmes de l'Union Européenne.

La dimension européenne est une composante essentielle de la stratégie du laboratoire. Depuis Esprit1, le LAAS est très présent dans les Programmes Cadres de Recherche et Développement (PCRD) gérés par la Commission Européenne. Il a contribué à près d'une quarantaine de projets ou réseaux dans le 5^{ème} PCRD, dont près du quart coordonnés par ses groupes. L'un d'eux, dénommé IMPACT, a labellisé le LAAS plateforme d'accueil européenne en micro et nano technologies ; IMPACT a permis d'accueillir en salle blanche du laboratoire une douzaine de projets européens exogènes. Le programme actuel, 6^{ème} PCRD, a retenu au cours de son année de lancement 2003 une vingtaine de projets auxquels le LAAS participe ; plusieurs autres sont en cours d'évaluation. Parmi ces 20 projets, le laboratoire coordonne le réseau d'excellence AMICOM, qui regroupe 28 partenaires de 14 pays sur l'étude des micro systèmes électromécaniques de communication, ainsi que le projet intégré COGNIRON, qui regroupe 10 partenaires de 7 pays, pour le développement d'un robot compagnon doté de capacités cognitives avancées.

Les actions européennes du LAAS bénéficient également du soutien d'autres programmes européens tels que EUREKA, d'organismes internationaux, par exemple l'Agence Spatiale Européenne ou l'OTAN, ou des accords inter-

Créé en 1994 et actuellement dirigé par un chercheur du LAAS, le LIMMS est un laboratoire commun entre le CNRS et l'université de Tokyo



régionaux, en particulier ceux portant sur la Communauté de Travail des Pyrénées ou ceux avec la Bavière.

Bien entendu, les relations européennes du LAAS sont également manifestes dans les Programmes Internationaux de Coopération Scientifique (PICS) du CNRS et dans les Programmes d'Actions Intégrées (PAI) du Ministère des Affaires Etrangères. C'est le cas en particulier pour les programmes ALLIANCE avec le Royaume-Uni, BALATON avec la République Tchèque, BRANCUSI avec la Roumanie, PICASSO avec l'Espagne, PLATON avec la Grèce, GALILEE avec l'Italie, POLONIUM avec la Pologne. D'autres échan-

ges s'inscrivent dans le cadre d'accords bilatéraux, par exemple les Actions franco-russes de coopération scientifique et technologique.

Les PICS du CNRS et les PAI du MAE soutiennent des coopérations internationales du LAAS au-delà de l'Europe, en particulier avec les pays du Maghreb, d'Amérique latine, mais aussi avec l'Australie, les USA, et les pays d'Asie. Le laboratoire maintient des liens de recherche avec le Japon, en particulier dans le cadre de la Japan Society for the promotion of science ou encore avec Hong-Kong par le biais du programme PROCOPE. Les chercheurs du LAAS entretiennent de nom-



Partenariats internationaux du LAAS : docteurs honoris causa de l'Université Paul Sabatier et de l'Institut national polytechnique de Toulouse, Brian Randell, université de Newcastle, Mike Brady, Université d'Oxford, Marc Ilegens, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne et Pravin Varaiya, Université de Berkeley

COOPÉRATIONS INTERNATIONALES

Les échanges internationaux du LAAS contribuent à son rayonnement. Chaque année plusieurs membres permanents du laboratoire bénéficient de diverses modalités de détachement et de séjours sabbatiques à l'étranger. Ses jeunes doctorants sont également encouragés et partiellement financés pour des séjours internationaux en cours de thèse et en post-doctorat.

Réciproquement, le LAAS accueille annuellement plus d'une vingtaine de post-doctorants étrangers et une dizaine de scientifiques confirmés sur des postes de chercheurs associés du CNRS, ou en séjours sabbatiques pour 6 mois à un an, ainsi que de nombreux visiteurs pour de plus courte durée dans le cadre de coopérations internationales. Par ailleurs, de nombreuses thèses en co-tutelle et des thèses sandwich sont co-encadrées par des chercheurs du laboratoire ; des doctorants étrangers effectuent des séjours au LAAS dans le cadre d'accords de coopération avec leurs universités d'origine.



Le robot Nomad à Patriot hills : expédition robotisée en Antarctique

breux liens avec les universités et centres de recherche américains, entre autre via les accords CNRS - National Science Foundation, France – Berkeley, ou avec l'University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC). Mentionnons également des liens étroits avec les universités Mexicaines du Campus de Monterey dans le cadre du laboratoire Franco-Mexicain d'Informatique, le LAFMI.

Le LAAS est également impliqué dans des unités internationales du CNRS du type Laboratoires Européens Associés et Unités Mixtes Internationales. Il s'agit respectivement du LEA-SICA (Systèmes Avancés et Contrôle Intelligent) avec l'Université Polytechnique de Catalogne et l'Université de

Gironne, et du LIMMS (Laboratory for Integrated MicroMechatronic Systems) avec l'Institute of Industrial Science de l'Université de Tokyo.

Ces diverses coopérations internationales se concrétisent bien entendu par de nombreux échanges de chercheurs, accueil au LAAS de jeunes chercheurs, de post-doctorants et de chercheurs confirmés en séjour sabbatique, en particulier sur les postes d'accueil du CNRS, et divers types de séjours internationaux des chercheurs du laboratoire avec un effort particulier pour les doctorants.

Enfin, mentionnons pour conclure la contribution du laboratoire à un grand nombre

de structures internationales d'animation scientifique, en particulier l'International Federation of Automatic Control (IFAC), l'International Federation of Information Processing (IFIP), ou l'International Advanced Robotics Programme (IARP).

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS

Collaborations interdisciplinaires, et régionaux

Le LAAS contribue fortement au potentiel scientifique de Midi-Pyrénées, une des quatre premières régions françaises en matière de recherche, au niveau de ses propres travaux et via de nombreux partenariats régionaux. Ces partenariats s'expriment en particulier dans le cadre de trois fédérations de recherche : Féria, en informatique et automatique, PUCE, en gestion de l'énergie électrique, et GREMO, un groupement sur les micro-ondes.

Aux partenaires présents dans Féria, PUCE et GREMO, se rajoutent de nombreux laboratoires avec lesquels le LAAS maintient diverses formes de partenariats, par exemple :

- avec le LBB autour de problèmes de conduite de bio-procédés ;
 - avec le LGC, un programme de coopération décliné en plusieurs projets communs sur la micro-fluidique ;
 - avec le CESR, sur les micro technologies dans l'observation spatiale ;
 - avec le CEMES, sur les matériaux et structures de la micro électronique ;
 - avec le Bureau National de Métrologie sur les résonateurs saphir et transistors SiGe ;
 - avec l'INRA et l'ADEME, sur la valorisation des déchets organiques solides par production d'acides gras volatils et de biogaz ;
 - avec le LCC, sur la mise en oeuvre de matériaux nanostructures par les technologies de la micro électronique ; ainsi qu'avec de nombreux autres laboratoires dont le LPS, le LNMO, le SNCMP, le LESIA, le CIRIMAT, etc. Mentionnons également la participation du LAAS au projet d'Institut des Technologies Avancées du Vivant (ITAV), en cours de montage, sur les volets nano-biotechnologies, robotique et technologies médicales, bio-informatique et bio-mathématiques
- Du fait du spectre des thématiques du laboratoire, cette interdisciplinarité touche à la

FÉRIA, la Fédération de Recherche en Informatique et Automatique de Toulouse associe au LAAS deux grands laboratoires : l'ONERA (départements DTIM et DCSD), et l'IRIT. Les actions de FéRIA se déclinent en projets et groupes de travail. Elles portent sur la spécification et la vérification Formelles, les systèmes décisionnels, la sécurité informatique, la simulation Coopérative Distribuée, la programmation d'Applications Réparties, les systèmes Embarqués, et les interactions Homme Système.

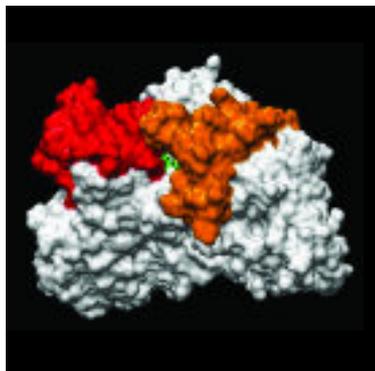
GREMO, le Groupement Régional en Electromagnétisme et Micro-Ondes, associe le LAAS, le LEN7 (Laboratoire d'Electronique de l'ENSEEIH), l'ADMM (Laboratoire d'Antennes, Dispositifs et Matériaux Micro-ondes), et Sup'Aéro. Ce groupement met en œuvre des partenariats de recherche sur la micro-électronique pour micro-ondes sur silicium et sur la simulation électromagnétique.

PUCE est une fédération qui associe au LAAS trois laboratoires principaux le CPAT, le LEEI et le LGET, ainsi que d'autres partenaires tels que le CIRIMAT, l'IMFT, le LBB, ou le LGC, sur les problèmes de génération et stockage de l'énergie, des décharges électriques, et sur les composants et circuits de puissance.

plupart des champs scientifiques, allant de la physique ou de la chimie aux sciences de l'univers, en passant par les sciences pour l'ingénieur. A titre d'exemples, les travaux du LAAS en interaction avec les sciences de la vie portent sur les micro et nanobiotechnologies (nanoadressage, biopuces, microfluidique), la bio-informatique et les bio-mathématiques (modélisation et dynamique des bioprocédés, algorithmique des interactions biochimiques), la robotique et l'imagerie médicales. Sur ces problèmes, le laboratoire entretient des relations scientifiques avec plusieurs partenaires, et en particulier avec le LBB,

le LGC, le CEMES et, prochainement, avec l'ITAV. Avec les sciences de l'homme et de la société, le LAAS entretient en particulier des relations avec le centre d'études et de recherche «Travail, Organisation, Pouvoir» (CERTOP).

partenariats nationaux



*Projet Amoro,
algorithmique
des interactions
moléculaires*

Les partenariats nationaux du LAAS se structurent le plus souvent dans le cadre des groupements et réseaux nationaux de recherche, ainsi que dans diverses actions nationales incitatives.

Ainsi le laboratoire a joué un rôle important et continue d'être très présent dans l'animation et la coordination des Groupements de Recherche (GDR) suivants :

- GDR architecture, réseaux et parallélisme (ARP)
- GDR algorithmique, langage et programmation (ALP)
- GDR information, interaction, intelligence (I3)
- GDR signal et image (ISIS)
- GDR automatique et productique (MACS)
- GDR intégration des systèmes de puissance (ISP 3D)
- GDR Nanoélectronique (NANO)

Le LAAS contribue également à l'animation de diverses Actions Concertées Incitatives (ACI) et à des projets soutenus par ces actions, en particulier les suivantes :

- ACI Cognitive
- ACI Nanosciences
- ACI Masses de données
- ACI Neurosciences Intégratives et Computationnelles

- ACI Sécurité informatique,
- ACI Non pollution-dépollution
- ACI Nouveaux procédés
- ACI Nouvelles méthodologies analytiques et capteurs

Les équipes du laboratoire participent à plusieurs projets soutenus par ces ACI. Elles sont également très présentes dans les Réseaux Nationaux de Recherche et d'Innovation Technologique (R2IT). C'est le cas en particulier pour les réseaux de recherche sur technologies logicielles (RNTL), sur les télécommunications (RNRT), sur les transports terrestres (PREDIT), sur les micro et nanotechnologies (RMNT), sur les technologies pour la santé (RNTS), et sur le génome (GenHomme). Le LAAS est présent dans les structures d'animation de plusieurs de ces réseaux.

Bien entendu, le laboratoire est très actif dans toutes les actions d'animation du département STIC, en particulier ses réseaux thématiques et actions spécifiques. Les partenariats nationaux et régionaux du LAAS s'inscrivent, pour une part significative,

ACI : les Actions Concertées Incitatives et les autres actions du ministère de la Recherche soutiennent des projets de recherche collaboratifs, en particulier dans des domaines interdisciplinaires et pour l'émergence de nouvelles thématiques. Les chercheurs du LAAS contribuent à une dizaine de telles actions.

R2IT : Il y a actuellement seize Réseaux de Recherche et d'Innovation Technologiques dans des domaines aussi variés que l'alimentation, la santé, les matériaux, les nanotechnologies ou les technologies logicielles. Le LAAS participe à 21 projets dans six de ces réseaux nationaux.

PIR : le CNRS conduit une vingtaine de programmes interdisciplinaires répartis en plusieurs grands axes. Le LAAS contribue à la direction et l'animation de plusieurs de ces programmes.

dans un cadre pluridisciplinaire, dans le sens du plan stratégique du CNRS. Cette pluridisciplinarité est présente dans la majorité des actions soutenues par les ACI. Elle est essentielle dans les actions des programmes interdisciplinaires du CNRS (PIR) auxquels le LAAS participe, en particulier dans les PIR suivants :

- PIR Robotique et entité artificielle (ROBEA)
- PIR Cognition et traitement de l'information,
- PIR Energie,
- PIR Nanosciences – Nanotechnologies,
- PIR Matériaux,
- PIR Microfluidique et microsystèmes fluidiques.



Composants et intégration de puissance

La consommation électrique (6,5 TeraKwh/an) croît plus rapidement que toutes les autres formes d'énergie. Pour la généralisation de solutions électriques, support d'un développement durable, il convient d'assurer une meilleure gestion de l'énergie électrique en améliorant les caractéristiques intrinsèques des composants semiconducteurs qui gèrent cette énergie et en évoluant vers des systèmes de conversion intégrés. Ces deux domaines constituent la charpente des thèmes de recherche du groupe Composants et Intégration de Puissance.

Physique des composants et nouvelles structures

Cette opération regroupe les travaux relatifs à l'étude et à la conception des composants de puissance, dans une perspective d'amélioration de leurs performances à l'état bloqué, à l'état passant et en commutation. Les travaux relatifs à l'amélioration des performances des interrupteurs MOS de puissance concernent aussi bien les transistors MOS latéraux, utilisables dans les circuits intégrés de puissance du type SMART POWER, que les transistors MOS verticaux discrets. Les applications visées sont principalement la basse tension (tenues en tension <150 Volts), pour l'automobile et la téléphonie mobile.

L'activité relative aux protections ESD porte sur le développement d'une nouvelle méthodologie de conception prenant en compte la robustesse aux ESD du circuit dès le début du développement. Elle est basée sur la compréhension approfondie des phénomènes physiques, la modélisation compacte des composants, la conception de solutions permettant une meilleure immunité aux ESD.

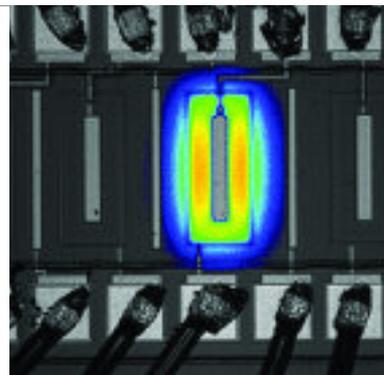
Les outils employés pour mener à bien l'ensemble de ces études sont généralement basés sur des méthodes numériques 2D ou 3D, avec une utilisation de méthodes analytiques pour les approximations de premier ordre et pour la compréhension physique des phénomènes.

Modélisation et conception

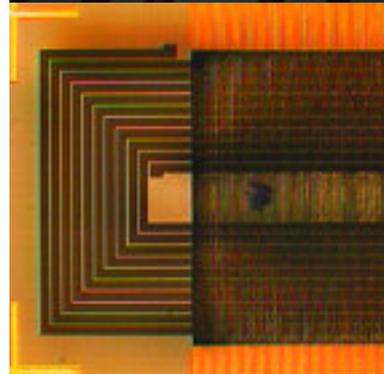
L'évolution de l'électronique de puissance vers l'intégration hybride ou monolithique impose la prise en compte dès la conception des problèmes matériels en même temps que des aspects fonctionnels. Sur la base de la modélisation des composants on vise à établir une méthodologie de conception adaptée à l'intégration.

Pour les aspects électriques, nous développons des modèles établis sur des bases physiques, à même de décrire et de prédire le comportement des composants dans un champ étendu de conditions de fonctionnement. Les modèles des principaux composants de puis-

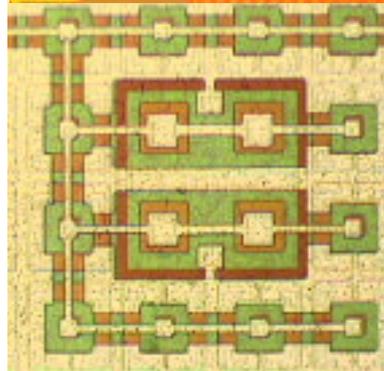
Caractérisation par la photoémission de la distribution de courants de substrat

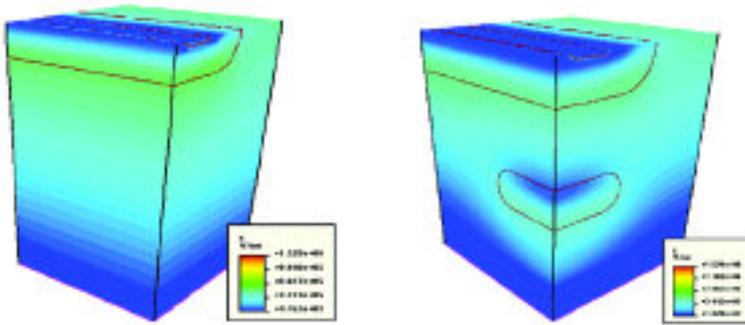


Microbobine sur silicium



Cellules d'une fonction de puissance intégrée





Simulation 3D de structures MOS de puissance

Nos objectifs concernent la modélisation, la conception et la technologie des composants de puissance sur silicium et de nouvelles structures intégrées. Nos travaux s'effectuent en partenariat avec Motorola dans le laboratoire commun LCIP sur les circuits intégrés de puissance, avec ALSTOM dans le laboratoire commun PEARL sur le transport, avec ST-Tours pour les dispositifs d'intégration fonctionnelle, et dans le GdR *Intégration des Systèmes de Puissance*.

sance ont été développés et utilisés pour analyser le comportement des circuits classiques de l'électronique de puissance et pour concevoir de nouvelles fonctions intégrables.

Pour les aspects thermiques, nous traitons l'écoulement de chaleur 3D dans les systèmes multicouches (substrats, supports, boîtiers, refroidisseurs). Ceci permet la caractérisation thermique statique et dynamique des éléments d'un assemblage, l'énoncé de leurs lois d'association, et l'évolution des performances des ensembles. Selon la complexité des assemblages étudiés et des conditions aux limites imposées, les logiciels utilisés à cette fin sont LAASTHERM, REBECA-3D et FLOTHERM.

Le couplage des aspects électriques, thermiques et mécaniques pour une conception globale des circuits de puissance s'inscrit dans le prolongement de ces travaux.

Intégration de puissance.

Les techniques d'intégration de puissance visent à assembler, sur une seule ou plusieurs puces l'ensemble des composants d'un système de conversion de l'énergie électrique. Cette intégration permet :

- de réduire le nombre de boîtiers et de connexions, et donc de diminuer leur volume et leur coût tout en augmentant la fiabilité du système,

- d'introduire des fonctions nouvelles plus performantes vis-à-vis de la surveillance et de la protection de l'interrupteur de puissance.

Nos recherches sont ici focalisées sur les problèmes de conception et de technologie relatifs aux :

- dispositifs basés sur le mode d'intégration fonctionnelle permettant, l'intégration de fonctions de commande et de protection avec l'élément de puissance, et le développement de nouvelles fonctions interrupteurs.

- circuits intégrés de puissance intelligents pour lesquels nous traitons essentiellement les aspects d'isolation entre les circuits de commande basse tension et les éléments de puissance haute tension, ainsi que le prétraitement des signaux bas niveau pour une optimisation des performances du composant de puissance (prédistorsion pour amplification de puissance).

Dans le prolongement de ce mode d'intégration, nous développons les filières technologiques permettant de réaliser des bobines et des condensateurs sur silicium dans la perspective d'évoluer vers des micro-convertisseurs intégrés pour des applications électroniques nomades et pour les microsystèmes. Nous développons des étapes technologiques spécifiques (gravure profonde, dépôt de matériaux diélectriques, magnétiques, ferroélectriques) en vue d'une intégration 3D hétérogène des systèmes s'appuyant sur une fabrication collective. L'association de nouveaux matériaux avec le silicium est la voie que nous privilégions pour accéder à de nouvelles fonctionnalités permettant d'améliorer les systèmes de conversion de l'énergie électrique.



Composants et intégration de systèmes hyperfréquences pour les télécommunications

La société de l'information nécessite des systèmes de transmission par voie hertzienne de grande compacité, performants et d'un coût raisonnable. Le groupe CISHT traite cette problématique sur plusieurs fronts : celui de la réduction du bruit et celui de l'intégration de circuits et de microsystèmes.

Le développement des systèmes RF, micro-ondes et millimétriques induit des besoins en circuits offrant, pour un faible coût, de meilleures performances à des fréquences plus élevées. Dans le but de répondre à cette demande, le groupe CISHT conduit des investigations sur les composants passifs et actifs ainsi que sur les architectures optimales des circuits dans le but de concevoir des dispositifs intégrés hautes fréquences (MICs ou MMICs) aussi bien sur silicium que sur semi-conducteurs composés. Cette attention toute particulière est portée à la modélisation prédictive de leurs propriétés en bruit de fond électrique et de leurs propriétés non-linéaires. Des techniques alternatives à la microélectronique monolithique sur semiconducteur sont également étudiées. C'est le cas, par exemple, de l'application des techniques de micro-usinage aux dispositifs micro-ondes. Le micro-usinage du silicium permet de développer des fonctions micro-ondes électromécaniques (MEMS) à haute performance et de grande compacité. Les techniques de « post-processing » de circuits associent les avantages de l'intégration MMIC à ceux des circuits micro-usinés, pour former un micro-système micro-onde. Nous allons détailler ces sujets en trois rubriques principales. Signalons tout d'abord que certains de ces travaux sont menés en collaboration avec d'autres équipes de recherche toulousaines dans le cadre du Groupement Régional en Electromagnétisme et Micro-ondes.

Bruit des dispositifs hyperfréquences

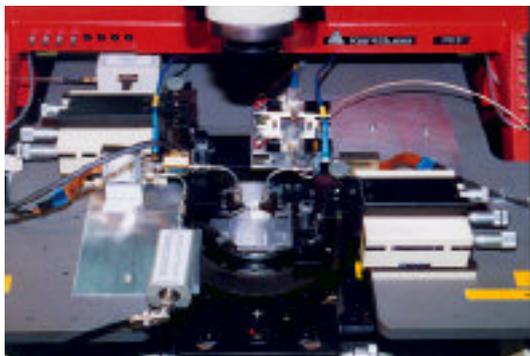
La réduction du bruit électrique est l'un des éléments clés pour l'amélioration des performances des systèmes de télécommunications, notamment dans l'aéronautique et le spatial. Nous traitons ce problème à la fois au niveau de la modélisation des composants actifs et au niveau de la conception des circuits. L'aspect caractérisation est particulièrement développé avec des moyens utilisables de 1 Hz à 40 GHz. Les objectifs visés sont d'une part, l'étude des phénomènes physiques élémentaires qui conditionnent le bruit électrique et, d'autre part, l'élaboration de modèles équivalents utilisables

ultérieurement pour la conception de circuits intégrés. La modélisation et la caractérisation en bruit de circuits non-linéaires est au cœur de notre activité. C'est le cas des sources micro-ondes, qui constituent un élément essentiel des dispositifs de télécommunications hertziennes. L'exigence de forts débits implique pour ces sources une grande pureté spectrale. Pour répondre à ces besoins, il faut les concevoir à partir de composants sélectionnés et parfaitement modélisés en régime non-linéaire et en bruit. Nous avons ainsi pu réaliser et tester divers oscillateurs micro-ondes dont les performances en bruit constituent l'état de l'art. Nous disposons également de moyens performants pour la métrologie du bruit de phase. Enfin, les technologies utilisant la fibre optique pour véhiculer un signal hyperfréquence apportent des possibilités complémentaires aux dispositifs entièrement électroniques et sont étudiés actuellement, en particulier vis à vis de leurs caractéristiques en bruit.

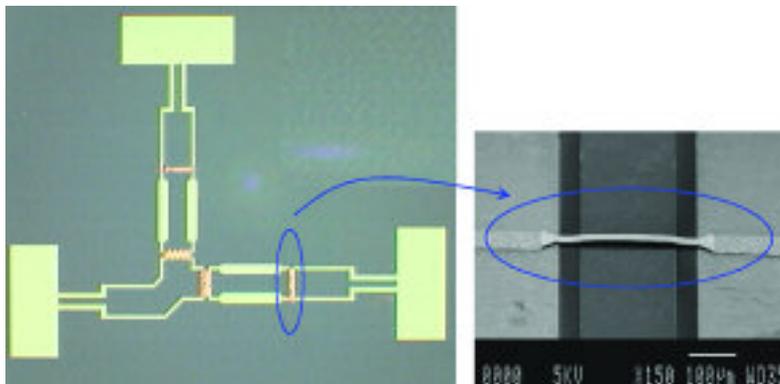
Conception de circuits analogiques et numériques micro-ondes

Les impératifs de réduction de coût et d'améliorations des performances exigent de réaliser les fonctions micro-ondes et millimétriques intégrées sous des volumes de plus en plus réduits. Les technologies silicium-germanium et CMOS sont à ce titre les meilleures candidates pour servir de support d'intégration. Notre objectif est de concevoir une bibliothèque de fonctions micro-ondes et millimétriques, analogiques et numériques, intégrées et à hautes performances. Cet objectif s'est notamment concrétisé récemment par l'intégration monolithique de boucles à verrouillage de phase semi-numériques à 10 GHz, 20 GHz, 30 GHz réalisées à partir de plusieurs fonctions élémentaires (tripleur de fréquence, diviseur de fréquence programmable numérique, comparateur phase/fréquence numérique, filtre de boucle). D'autres travaux en cours portent sur la synthèse de fréquence entièrement numérique, ou synthèse digitale directe.

Un autre domaine d'étude est celui des interconnexions uniplanai-



Banc de caractérisation des propriétés en bruit haute fréquence des composants et circuits micro-ondes (jusqu'à 40 GHz)



Aiguilleur de signaux micro-ondes utilisant des commutateurs MEMS et destiné à l'activation de circuits de redondance dans un satellite de télécommunications

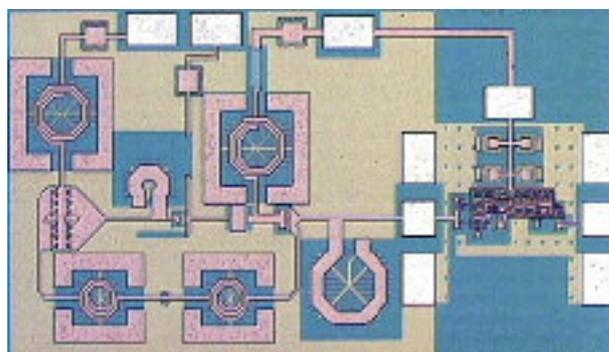
res pour la conception de circuits hyperfréquences monolithiques. Cette approche, peu développée pour les circuits monolithiques sur silicium, permet d'aboutir à un circuit très compact sans compromis sur les performances. Elle a été mise à profit pour la conception de coupleurs actifs, qui ont ensuite été intégrés dans un circuit de mélange de fréquence.

Microsystèmes micro-ondes

Les procédés de micro-usinage du silicium, mis au point dans la centrale de technologie du LAAS, associés à nos outils de simulation électrique, mécanique et électromagnétique, sont utilisés pour réaliser des fonctions passives (MEMS RF), et notamment des micro-commutateurs, tout en conservant une certaine compatibilité avec les technologies silicium conventionnelles. Ces commutateurs présentent des performances en pertes et isolation inaccessibles à des technologies microélectroniques classiques. De nouvelles structures sont étudiées pour ces dispositifs, permettant d'optimiser simultanément les performances électromécaniques (commande) et les performances hyperfréquences, en incluant la tenue aux fortes puissances.

Une approche complémentaire dite de « microsystème intelligent » consiste à intégrer ces structures passives MEMS avec des dispositifs actifs provenant d'un fondeur externe. Une filière « above IC » est actuellement développée et introduit la réalisation d'un dépôt d'isolant organique sur le circuit intégré, suivi par la conception du microsystème sur ce nouveau substrat. Ces travaux ouvrent la voie à l'élaboration de systèmes de communication compacts reconfigurables et à faible coût sur une seule et même puce.

A ces deux approches de conception de microsystèmes sont associées des études portant sur la fiabilité et le « packaging » de ces dispositifs. Ces derniers travaux sont essentiels pour les applications futures des microsystèmes micro-ondes, et plus particulièrement dans le domaine spatial.



Association d'un oscillateur contrôlé en tension à 10 GHz et d'un diviseur de fréquence numérique sur un même circuit monolithique sur silicium

Laas

Photonique

Les applications des composants photoniques, en particulier en semiconducteurs III-V, continuent à se diversifier. Les avantages offerts par ces dispositifs justifient cette progression : gamme spectrale de fonctionnement accessible, caractéristiques originales (multilongueurs d'onde, rapidité, immunité). Par ailleurs, les composants optoélectroniques peuvent être intégrés dans des systèmes optiques qui lèvent certaines contraintes intrinsèques aux systèmes électroniques (encombrement, débit), et peuvent être associés à d'autres matériaux et composants (électroniques, mécaniques, optiques) dans des microsystèmes optiques.

Cette dynamique implique des recherches sur les matériaux, composants et systèmes afin de renforcer l'apport de la Photonique dans ses domaines établis (communications en particulier) ou ouvrir de nouveaux domaines d'applications. Elle génère aussi le développement des technologies qui sont nécessaires à la réalisation de dispositifs innovants ou qui visent l'intégration des composants optoélectroniques dans des systèmes hybrides. Elle réclame enfin une réflexion sur la nature et l'architecture des systèmes dans lesquels l'optoélectronique peut avoir un apport significatif. Dans ce cadre, nos recherches sont focalisées sur la conception et les technologies de fabrication de dispositifs optoélectroniques exploitant des matériaux ou effets physiques prospectifs et/ou offrant de nouvelles fonctionnalités.

Matériaux et technologies

■ Epitaxie

Les composants étudiés au sein du groupe sont fabriqués par épitaxie par jets moléculaires. Nous faisons aussi des études plus amont, comme par exemple, celle de structures à puits quantiques GaInAsN/GaAs, (100) et (111), et à boîtes quantiques GaInAs(N)/GaAs pour étendre les applications optoélectroniques de la filière GaAs vers 1,3 - 1,5 μ m. Par ailleurs, Nous avons développé la technique de Réflectométrie Dynamique Accordable qui garantit une haute précision sur l'épaisseur des couches élaborées par commande en temps réel de l'épitaxie.

■ Technologies de fabrication

Nous possédons la technologie de fabrication de diodes laser et de composants à microcavité verticale, en particulier le procédé AIOx d'oxydation humide de couches épitaxiées d'AIAs qui permet de réaliser un confinement électrique et optique très efficace au sein des structures laser.

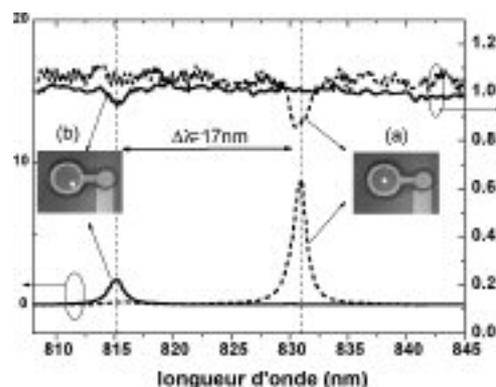
Nous développons un procédé de nanoimpression de polymères pour réaliser des motifs submicroniques à la surface de fluorures ou de GaAs, en interaction avec le groupe Nano-adressage. L'objectif est

de réaliser des fonctions optiques grâce à des motifs polymères nanostructurés en surface de composants fluorures ; pour les semiconducteurs, par report de cette structuration dans le matériau, nous visons la croissance d'objets à basse dimensionnalité contraints sur ces surfaces, ou la réalisation de cristaux photoniques.

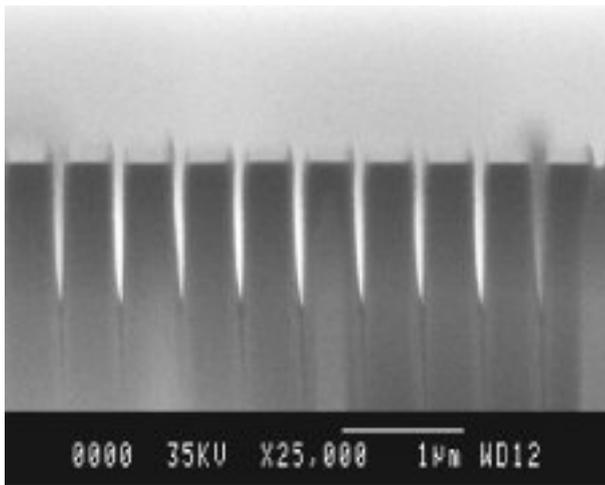
Amplificateurs et lasers à 1,3 μ m

Les applications optoélectroniques sont très ouvertes à cette longueur d'onde qui correspond au minimum de dispersion des fibres en silice et qui présente des avantages pour le fonctionnement des dispositifs. Les recherches menées dans le groupe portent sur la conception, la fabrication et la caractérisation de trois types de dispositifs :

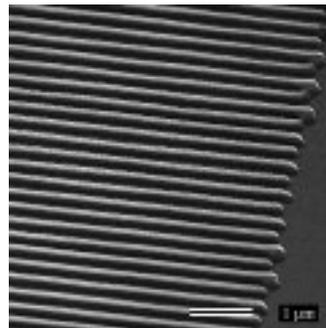
■ **Guides d'onde actifs de fluorures dopés aux terres rares** : ces composants pour l'optique intégrée tirent parti de l'association des propriétés spectroscopiques des ions terres rares (Nd, Pr et Er) et des propriétés de confinement optique des guides épitaxiés. En particulier, pour le néodyme, la démonstration de microlasers à 1.06 μ m a été obtenue et la réalisation de microamplificateurs à 1.3 μ m est menée.



Mise en évidence des modes d'oxyde en détection d'un VCSEL AIOx par mesure de spectres localisés de photocourant et de réflectivité sur la zone d'émission (a) et les zones oxydées (b)



(a)



(b)

Vues au microscope électronique de réseaux : (a) gravé par attaque sèche dans GaAs et (b) obtenu par nanoimpression dans un polymère (collaboration groupe Nanoadressage)

■ **Diodes laser à base de puits quantiques GaInAsN/GaAs (100)** émettant à $1,3\mu\text{m}$ pour le développement de sources à faible coût pour les réseaux d'accès. Cette nouvelle filière offre des propriétés de confinement très avantageuses qui permettent d'améliorer la stabilité thermique des sources actuelles.

■ **Lasers à cavité verticale à émission surfacique (VCSELs)** à base de puits quantiques GaInAsN/GaAs (100) à diaphragme enterré d'oxyde émettant à $1,3\mu\text{m}$: l'épitaxie de ces composants et l'optimisation des réflecteurs de Bragg et de l'injection électrique sont traitées.

Composants à fonctionnalités nouvelles

■ Composants et structures à microcavité

Des études sont menées sur des composants optoélectroniques exploratoires et/ou sur des applications prospectives : composants à microcavité où des effets non linéaires seraient utilisés pour le traitement de l'information, exploitation des bi-VCSELs pour accéder à la gamme spectrale THz, composants spintroniques pour le traitement quantique de l'information,

■ Nanolasers à base de structures à bande interdite photonique

Les matériaux à bande interdite photonique aussi appelés cristaux photoniques apportent un degré de liberté supplémentaire dans la conception de sources laser. Ils ouvrent tout particulièrement la voie à de nouvelles générations de sources laser à semiconducteurs, à cavité de taille nanométrique, intégrables dans un circuit photonique. Notre objectif est de démontrer la faisabilité de sources à pompage électrique notamment en vue de leur application pour les télécommunications optiques.

■ Spintronique

Le contrôle du spin des porteurs ouvre la voie au traitement quantique de l'information. Les diodes électroluminescentes à courant polarisé en spin obtenues par association de semiconducteurs III-V, structures à puits quantiques, à un matériau ferromagnétique sont dans ce cadre des composants clé. La polarisation de la lumière émise

au sein des puits quantiques dépend en effet directement de la polarisation en spin des porteurs injectés. Des structures à boîtes quantiques et à puits quantiques (110) visant cette application sont aussi développées.

Microsystèmes optiques

■ Microsources laser à émission stabilisée en fréquence

Des microsources laser, constituées par l'hybridation sur une plateforme en silicium d'une diode laser à réseau de Bragg et d'un micro-miroir en silicium, permettent d'obtenir une configuration robuste et miniature de diodes laser à cavité externe. Nous exploitons cette approche pour améliorer la qualité de l'émission de la diode laser, en particulier pour stabiliser la longueur d'onde d'émission pour des applications en métrologie, instrumentation, ou télécommunications optiques.

■ Microsystèmes pour l'instrumentation optique

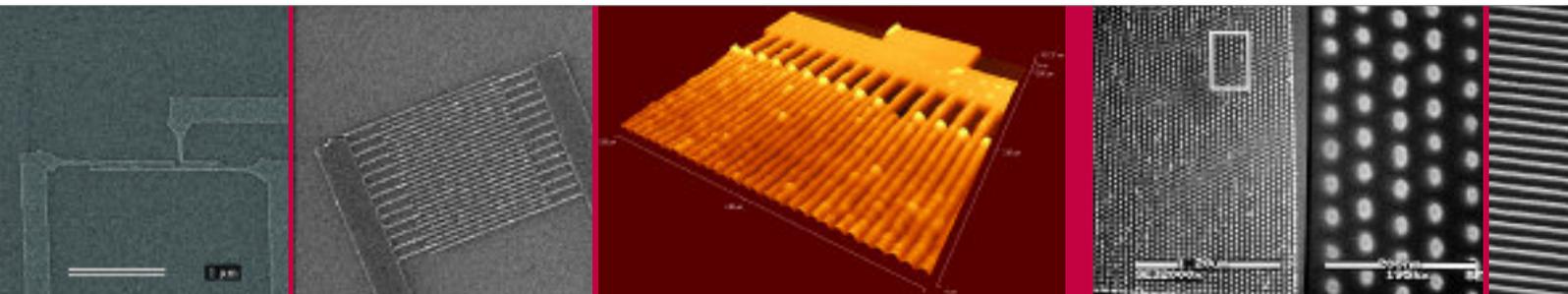
Des systèmes optiques miniatures, de nouvelles fonctionnalités optiques ou des systèmes photoniques innovants peuvent être développés grâce aux concepts et techniques des MEMS et de la microélectronique. L'utilisation d'une technologie conventionnelle de type CMOS est étudiée pour assurer, au sein de capteurs optiques, des fonctions intégrées avancées telles que la « détection intelligente » ou innovantes comme la « détection d'interférences ».

■ VCSELs et microsystèmes

Nous développons un microsystème optique de détection, élément d'un micro-capteur pour l'analyse biologique ainsi qu'un microsystème optique à sonde VCSEL pour la microscopie en champ proche. Ces deux applications tirent parti de la qualité de faisceau et du parallélisme offerts par les VCSELs.

Nanoadressage, nanobiotechnologies

Comment échanger de l'information avec un nanosystème dont la taille n'est que de quelques nanomètres ? L'objectif principal du groupe est d'imaginer et de développer des concepts nouveaux afin d'échanger des signaux avec des nano-objets ultimes, c'est à dire de mettre au point des solutions pour adresser des nano-objets. Au sein du groupe le nano-adressage est décliné plus spécifiquement vers les biomolécules et les systèmes biologiques.



(a) Quelques exemples de nanodispositifs à base de nanoélectrodes pour le nano-adressage électrique. Les nanoélectrodes métalliques sont fabriquées par lithographie électronique à haute résolution. A gauche, la séparation des électrodes est de 20 nm, au centre le peigne interdigité déploie une longueur totale de 75 μm , avec une séparation entre électrodes de 30 nm, sans aucun court-circuit. A droite une image AFM.

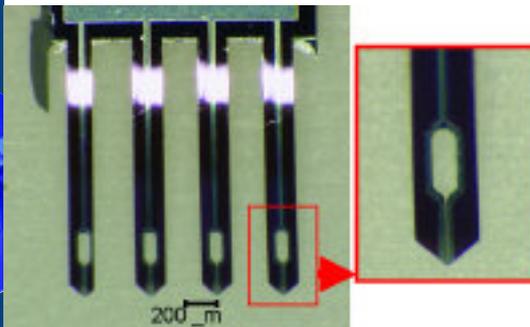
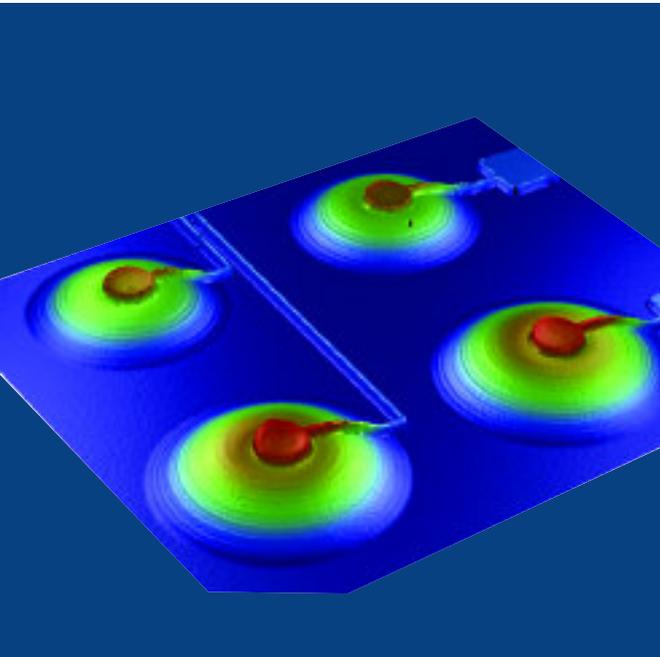
(c) Moule pour la nano-implosion de très haute résolution, fabriqué par lithographie électronique et gravure ionique réactive (période 40 nm, densité 400 Gbit /in²). Au centre réseau de lignes de

L'essor des nanotechnologies a ouvert des potentialités nouvelles pour fabriquer des nano-objets présentant des propriétés remarquables, pouvant être exploitées afin de fabriquer des dispositifs nouveaux. Ces nano-objets couvrent un large spectre de propriétés, de matériaux et d'applications. Citons par exemple les fils et boîtes quantiques artificiels, les nanoparticules, les molécules, les nanotubes et les biomolécules. Un verrou technologique important est d'imaginer la manière dont ces nano-objets peuvent être connectés au monde macroscopique sans perdre leurs propriétés intrinsèques qui sont bien souvent fragiles et très sensibles à l'environnement. Cette problématique que nous recouvrons sous le vocable de nano-adressage est une phase cruciale du développement des nanosciences. En vue d'applications potentielles nous privilégions un nano-adressage planaire en utilisant des procédés de fabrication compatibles avec la production à grande échelle. Cette recherche technologique autour du nano-adressage est générique et prospective. Elle est appliquée à différents types de nano-objets en étroite collaboration avec des partenaires académiques provenant de différents horizons : chimistes, physiciens et biologistes. Dans le groupe nous nous focali-

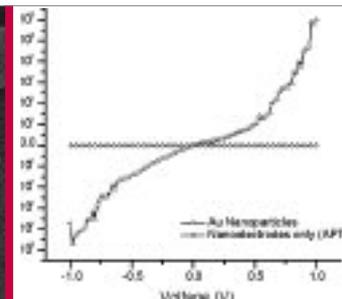
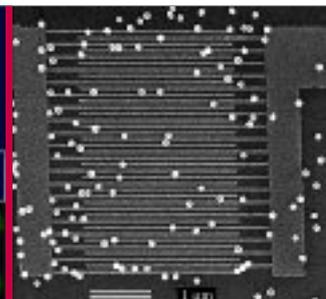
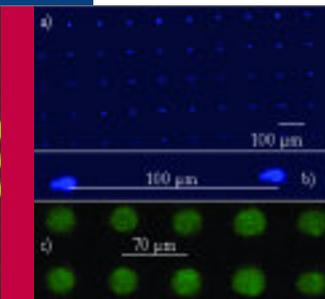
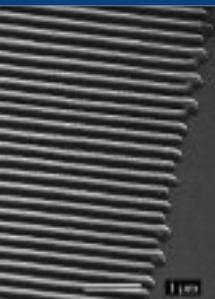
sons sur un type particulier d'application à l'interface avec la biologie. En effet, nous pensons que la synergie entre les biotechnologies et les nanotechnologies constitue probablement une des facettes les plus excitantes du domaine des nanosciences.

Le nanoadressage électrique : Nous développons des techniques et des procédés permettant de contacter électriquement des nano-objets tels que des nanotubes, des nanoparticules et des biomolécules (ADN, protéines). (Figure a)

Nanoadressage mécanique : Nous développons des systèmes électromécaniques capables soit de déposer des volumes de solution très petits (< femtoLitre) sur une surface, soit de transformer de manière extrêmement sensible une petite variation de contrainte mécanique en signal électrique. Nous avons ainsi fabriqué et validé un Nanospotter totalement automatisé capable de déposer des solutions liquides sur une surface. Cet instrument est un maillon essentiel de l'activité nano-adressage car il permet de déposer sur un nanodispositif, une solution liquide dans laquelle on peut diluer toutes sortes de nano-objets (molécules, biomolécules, nanoparticules, colloïdes, nanotubes....). (b)



(b) Image au profilomètre optique de membranes de 300 μm et 600 μm équipées d'un système d'excitation et de détection mécanique à base de céramiques piezoélectriques. Bras de leviers du Nano-spotter.



150 nm au pas de 300 nm répliquées par nano-impresion sur une résine thermo-réticulable. A droite motifs micrométriques d'anti-corps fluorescents déposés par tamponnage moléculaire.

(d) A gauche, image en fluorescence de spots de solutions protéiques déposés à l'aide du nano-spotter. Au centre un nanodispositif à base d'électrodes inter-digitées après interaction avec des biomolécules marquées par des colloïdes d'or. A droite réponse électrique du nanodispositif électrique après l'interaction. La sensibilité est inférieure à 10 molécules.

Développement des techniques alternatives de nano-lithographie

Le groupe est fortement impliqué dans le développement des nouvelles méthodes de nanofabrication à bas coût et fort rendement. Les techniques de Nano-impresion et de Micro Contact Printing sont développées afin de dupliquer des nanostructures initialement fabriquées sur un moule par lithographie électronique à très haute résolution. Le groupe travaille sur cette thématique en étroite liaison avec le service technologique du laboratoire TEAM. (c)

Nanobiotechnologies

Le « Bio-patterning » et le nano-adressage de biomolécules seront les deux centres d'intérêt majeur du groupe dans le vaste domaine des nanobiotechnologies. En étroite synergie avec le Génopôle de Toulouse nous développons des briques technologiques élémentaires qui combinent des nano-dispositifs, des nano-outils et des biomolécules. Deux types de projet élémentaire sont poursuivis : i) Le dépôt de molécules biologiques sur une surface, à très haute résolution (sub micronique) sans dénaturation des biomolécules, ii) la détection intégrée à la surface d'une lame de l'interaction

spécifique entre biomolécules (ADN/ADN, protéine/protéine, ADN/protéine). (d)

Collaborations

Les nano-objets d'étude sont généralement élaborés par des partenaires locaux : nanocristaux (CEMES), nanotubes (CIRIMAT), biomolécules (DNA, protéines, coll. Génopole, LCC, IPBS), dendrimères (LCC), composés à transition de spin (LCC), nanoparticules auto-assemblées (LCC). Les études fines sur les propriétés de transport au travers de ces nano-objets sont réalisées en collaboration avec le LNMO (INSA Toulouse). Les travaux sur les micro/nanosystèmes mécaniques font l'objet d'une étroite collaboration avec le LIMMS. Le groupe est partenaire dans 2 projets européens : NAPA (IP) « Nano Patterning » et NanotoLife (NoE) du 6^{ème} PCRD dans la priorité « Nano ».

Technologie, micro et nanostructures

L'activité du groupe Technologies, micro- et nano-structures (TMN) créé en 1999 concerne les procédés d'obtention de matériaux et interfaces, les propriétés de ces derniers, leur compatibilité, la réalisation de structures et composants innovants devant assurer des fonctions déterminées.

Le développement des microsystèmes nécessite que soient disponibles des technologies et matériaux variés différents de ceux qui ont fait la Microélectronique traditionnelle en particulier CMOS. Par ailleurs les champs d'application des microsystèmes sont nombreux et les fonctions élémentaires qui doivent être assurées en leur sein sont diverses - actuation, transduction, détection, mesure, ... - et font appel à des matériaux nouveaux ou dont les propriétés sont mal connues concernant les couches minces et les interfaces : propriétés thermiques, mécaniques, optiques, électriques. La Microélectronique elle-même atteignant des limites en matière d'intégration, les solutions nouvelles envisagées pour l'accroissement des performances font appel à des matériaux non conventionnels et à des interfaces nanostructurées et fonctionnalisées dont les propriétés et les procédés d'obtention ne sont pas encore établis.

Actuellement les thèmes suivants sont traités :

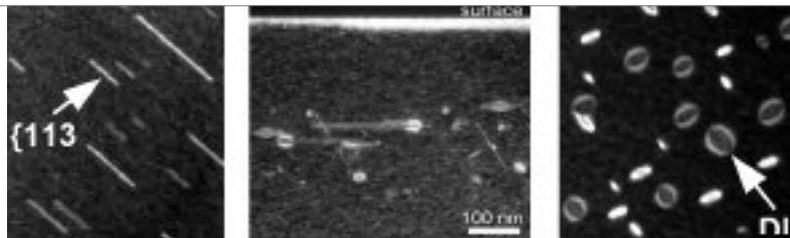
Technologie, étude de matériaux et développement de procédés

JONCTIONS ULTRA-MINCES

La miniaturisation incessante des transistors MOS impose d'une part la diminution de l'extension en profondeur des deux jonctions source et drain jusqu'à quelques dizaines de nanomètres et d'autre part l'augmentation de leur dopage jusqu'à la limite de solubilité des dopants. Ceci pose, d'une part, de nouveaux problèmes technologiques, tels que implantation à très basse énergie, recuits ultra rapides, préamorphisation des substrats, mais aussi physiques, tels que la diffusion anormale des dopants, leur dé-activation et leur précipitation. Deux études sont actuellement en cours sur cette problématique : l'interaction défauts-dopant et la précipitation/déactivation des dopants.

PROCÉDÉS DE DÉPÔT SILICIUM

Des travaux menés au laboratoire en collaboration avec le labora-



Observation en microscopie électronique de boucles de dislocations associées à une zone implantée

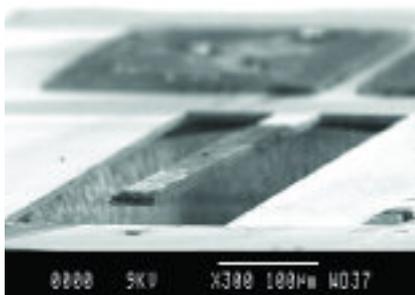
toire de génie chimique sont axés sur le développement des procédés de dépôt chimique en phase vapeur sous basse pression. Plusieurs concepts de réacteurs, i.e. « tubulaire à flux perpendiculaire », « secteur à flux parallèle » et « assisté par plasma », sont étudiés afin d'explorer une gamme étendue pour les paramètres de dépôt LPCVD tout en conservant une bonne homogénéité et reproductibilité des couches. Les études ont ainsi été engagées sur les quatre thèmes suivants : les phénomènes fondamentaux de la croissance de silicium non dopé, le dépôt d'oxynitride de silicium SiO_xN_y et le dépôt de Silicium fortement dopé Bore (Si:B), les nanocristaux de silicium.

CARACTÉRISATION DE MATÉRIAUX

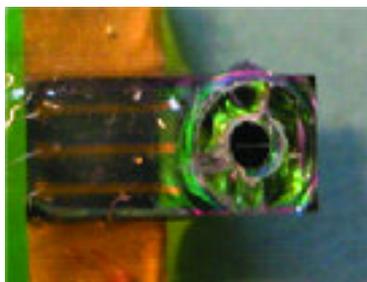
L'objectif de cette étude est de pouvoir accéder à des propriétés mécaniques qu'on ne connaît que pour les matériaux massifs, afin de répondre aux interrogations des concepteurs de circuit confrontés aux problèmes mécaniques que posent les composants de puissance lors de leur fonctionnement qui peut provoquer un échauffement important, rendant nécessaire la connaissance des paramètres thermiques et mécaniques.

Filière technologique pour microsystèmes hyperfréquence

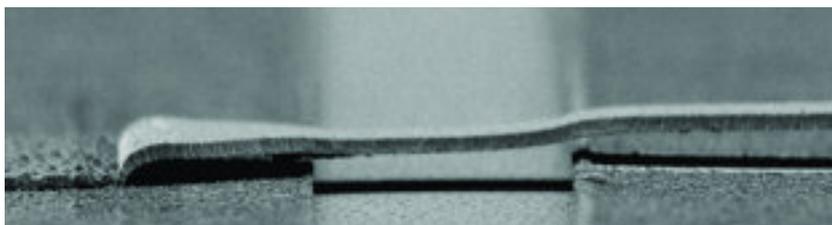
Le domaine de l'électronique haute fréquence connaît depuis une



Bilame Si-Cu intégré pour la mesure en température du coefficient de dilatation du Cuivre



Microcuve (1 µL) intégrée sur un capteur chimique de type ISFET



Vue partielle d'un pont à actuation électrostatique

dizaine d'années un développement spectaculaire lié à la généralisation des communications mobiles nécessitant des systèmes électroniques haute fréquence miniatures, performants, fiables et à faible coût. Ces contraintes nécessitent de développer de nouvelles filières technologiques adaptées pour lesquelles le silicium apparaît être un matériau de choix grâce notamment à ses propriétés de micro-usinage. Nos travaux dans ce cadre visent donc à développer des filières technologiques qui permettent la réalisation de microsystèmes hyperfréquences performants et fiables. Actuellement sont étudiées : **une filière pour circuits suspendus et une filière de micro-ponts métalliques à actuation électrostatique.**

Capteurs chimiques

Dans de nombreux domaines, tels la santé, l'environnement, l'agro alimentaire, la cosmétique, la domotique, l'automobile, ... la demande sociétale en matière de sécurité et de sûreté va croissant. Cela se traduit entre autre par un besoin accru en matière de détection, mesure et analyse d'espèces chimiques diverses. Le développement des microsystèmes est une voie de choix pour répondre à cette évolution en particulier si ceux-ci comportent des capteurs de type électronique intégrables et directement interfacables avec les circuits de traitement du signal autorisant donc la mesure temps réel et les actions de contrôle/commande.

Nos études en la matière concernent le développement de **micro-capteurs chimiques à effet de champ** (transistors et capacités) et de **microcapteurs de gaz à base d'oxydes métalliques semiconducteurs.**

Conversion d'énergie

L'objectif de cette étude est de réaliser des micro-convertisseurs d'énergie de quelques watts, entièrement intégrés, destinés aux systèmes portatifs et aux microsystèmes. Les efforts se concentrent sur le développement d'architectures modulaires de conversion novatrices comprenant leurs propres lois de commandes, notamment des MPPT.

De meilleures performances pouvant être atteintes en intégrant totalement les chaînes de conversion, nous développons une nouvelle technologie **d'intégration d'inductance et de condensateurs de forte valeur**, verrous technologiques à résoudre pour atteindre des alimentations entièrement intégrées.

Fiabilité de mémoires non-volatiles

L'étude est motivée par la nécessité de définir de nouvelles procédures d'analyse et de test de fiabilité compte tenu des exigences actuelles particulières à certaines applications en terme de durée de vie, sécurité des circuits et production à très fort volume. Par ailleurs une autre contrainte de la problématique est la réduction du temps et du coût des tests de fiabilité. Ces divers éléments sont à la base du travail engagé concernant la rétention de données de mémoires NVM enfouies dans un circuit « Smart Power ». Une nouvelle procédure de test en rétention de données a été proposée qui réduit de plusieurs décades de temps la durée d'une telle analyse.

Actions de valorisation

Le groupe mène aussi des actions de valorisation, actuellement sur les capteurs de pression et les capteurs de radiation. Concernant les capteurs de pression il s'agit d'actions de conception, réalisation et caractérisation de capteurs spécifiques à la demande d'une PME. Concernant les dosimètres de rayonnement il s'agit dans le cadre d'une licence d'exploitation et d'un contrat de location de moyens, d'un support en process et caractérisation à une PME qui fabrique les dosimètres dans la centrale de technologie du LAAS.



Microsystèmes et intégration des systèmes

L'activité du Groupe MIS est dédiée au développement des méthodes, des outils et des technologies de l'intégration des systèmes et des microsystèmes multifonctionnels. En réponse à la demande scientifique et technologique, le Groupe MIS définit son activité selon deux orientations principales :

>> injecter des éléments de progrès technologiques et conceptuels : en apportant les outils scientifiques de base indispensables au développement des technologies, la voie privilégiée est celle de la modélisation à l'échelle atomique, en centrant l'effort sur de nouvelles idées de dispositifs intégrables et sur les technologies afférentes de réalisation et d'intégration 3D.

>> Forger les outils de la transition du composant vers le système selon une démarche qui va du prototypage virtuel et du traitement multi-sensoriel, jusqu'au prototypage matériel.

Les travaux s'inscrivent dans le cadre de programmes français (CNRS, Ministère de la Recherche : RNRT, PREDIT, ACI), européens et internationaux (MEMSOI, Micropyros, AtomCAD, Hike, Awake) ou dans le cadre de collaborations directes avec des entreprises.

Technologies d'intégration et concepts innovants

MODÉLISATION À L'ÉCHELLE ATOMIQUE DES PROCÉDÉS

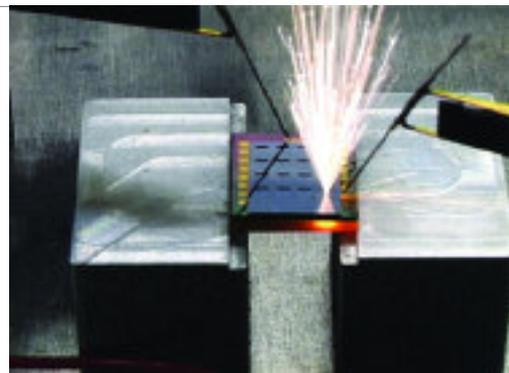
La réduction des dimensions et le mixage des technologies imposent une connaissance de plus en plus sûre des mécanismes physiques responsables des performances des composants et assemblages hétérogènes : notre ambition est de développer des outils, basés sur des analyses et modélisations à l'échelle atomique, qui pourront être utilisés dans la conception des nouvelles générations de composants. Les études concernent aujourd'hui les oxydes dans la microélectronique « MOS ultime » et les nanobiotechnologies.

MICROSYSTÈMES FLUIDIQUES

L'ambition générale est de fournir les méthodes et outils pour la réalisation d'une nouvelle génération de microsystèmes fluidiques intégrés. Les applications visées sont l'analyse biologique et les procédés de synthèse chimique. L'essentiel de l'effort est centré aujourd'hui sur les éjecteurs intégrés et les systèmes multifonctionnels de type Lab on Chip ou Fab on Chip. L'option technologique, retenue pour ces derniers est celle de l'intégration hybride des systèmes (polymères/silicium) à partir de résines epoxy photosensibles SU8.

MICRO MOTEURS PYROTECHNIQUES

Cette technologie permet de convertir l'énergie chimique interne contenue dans les propergols en énergie électrique, mécanique ou thermique. Trois types de pyrosystèmes sont développés aujourd'hui : des générateurs de gaz ou d'onde de pression, des propulseurs pour générer des forces mécaniques et des microarmes pyrotechniques « sécurisées » sur silicium.



Matrice de micropropulsion en cours de combustion

MICRO MIROIRS DIGITAUX

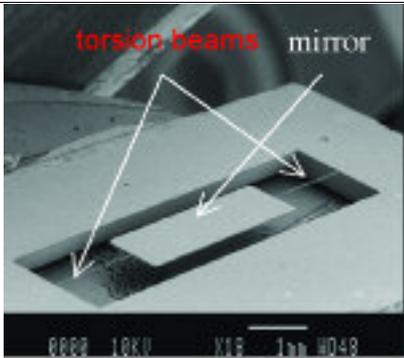
Cette activité, orientée initialement sur le fonctionnement en balayage pour des applications robotiques, a permis de mettre au point une technologie de miroirs à déflexion variable et d'y associer une électronique de commande. L'activité s'ouvre aujourd'hui au fonctionnement digital, c'est à dire en tout ou rien. Les applications visées sont la commutation optique de faisceaux pour les télécommunications en particulier.

ADRESSAGE MATRICIEL POUR ACTIONNEURS THERMIQUES

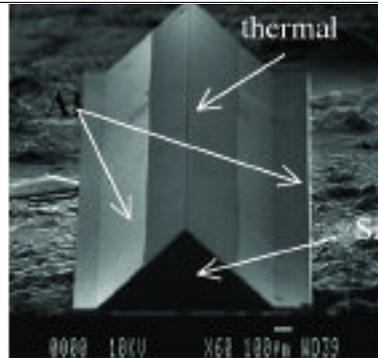
Ce point revêt un caractère générique de conception de systèmes d'adressage réalisé sur microsystèmes mais concerne très directement nos applications sur les moteurs pyrotechniques et les éjecteurs matriciels. L'idée est d'adjoindre à l'arrangement matriciel de micro-objets un élément seuil et un routage électrique garantissant l'adressage de la seule cellule sélectionnée.

MICROOUTILS POUR LA CHIRURGIE

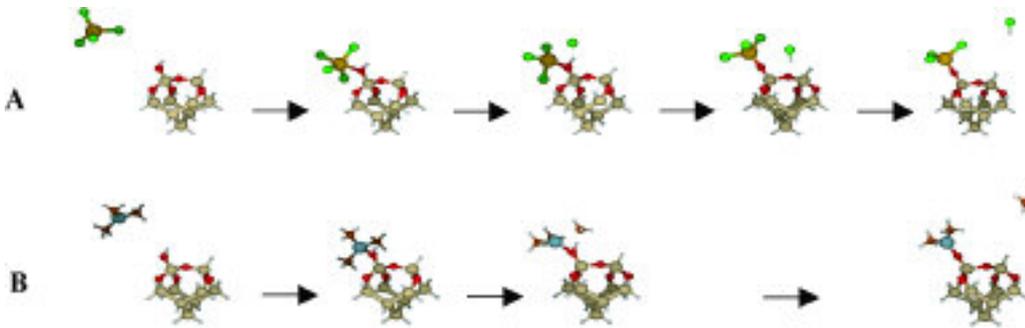
Ce projet concerne la chirurgie laparoscopique robotisée et téléopérée. Il explore les possibilités offertes par les microtechnologies pour réaliser une pince articulée intégrant une électronique d'éclairage et un capteur d'effort en silicium micro usiné.



Micro miroirs silicium a) partie supérieure



b) partie inférieure



Différents stades de la dissociation de $HfCl_4$ sur SiO_2 (cas A) et $Al(CH_3)_3$ sur SiO_2 (cas B)

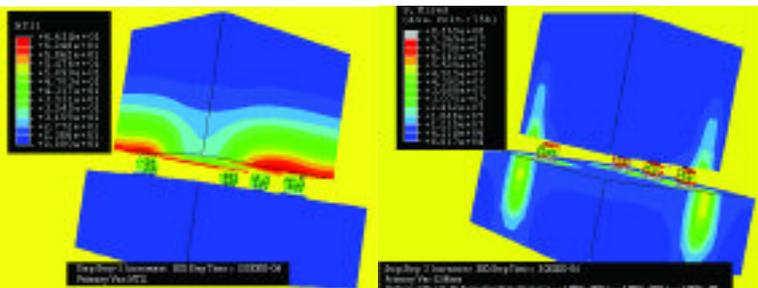
TECHNOLOGIES D'ASSEMBLAGE

L'effort est mis sur les assemblages 3D de composants hétérogènes. Ce travail a déjà conduit à des réalisations d'assemblages électroniques « puces nues » standard ou amincies à quelques μm . Il s'oriente maintenant vers la mise au point de procédés génériques pour les microsystèmes fluidiques.

Intégration des systèmes

Un des traits essentiels des microsystèmes est la complexité et la forte hétérogénéité des composants qui le constituent. Notre stratégie se fonde sur l'élaboration, préalablement à la matérialisation, d'un prototype virtuel où viennent s'inclure des modélisations et des algorithmes spécifiques de traitement multisensoriel et capable d'intégrer à terme la prédiction des mécanismes de défaillance.

Comportement thermomécanique d'une puce montée sur un substrat de nitrure d'aluminium (AlN) par la technique « Flip Chip » et en cours de fonctionnement :



(a) réponse thermique

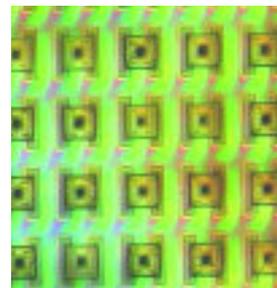
(b) contraintes mécaniques induites et localisation des zones à risques

PROTOTYPAGE VIRTUEL ET FIABILITÉ PRÉDICTIONNELLE DES MICROSISTÈMES

Ce travail implique l'implantation de modèles comportementaux ou physiques des fonctions (électriques, mécaniques, thermiques) dans un simulateur et inclut l'injection au niveau du prototype virtuel, de mécanismes de défauts. Cette approche a permis de traiter l'intégration d'un système d'imagerie IR et s'étend aujourd'hui vers les systèmes de vision et reconnaissance d'images et les dispositifs de surveillance domotique.

TRAITEMENT MULTISENSORIEL ET RECONNAISSANCE DES FORMES

Le traitement multicapteurs est un axe important d'application des microsystèmes. Cette procédure fait appel à des techniques d'apprentissage et dans certains cas à des techniques de réseaux de neurones artificiels qui se prêtent bien à l'intégration sur silicium. Cette activité très horizontale intéresse de nombreux secteurs d'application du Groupe : systèmes de vision, systèmes de surveillance.



Vue de dessus d'une matrice d'éjecteurs



Ingénierie système et intégration

L'Ingénierie Système requiert la mise en commun de modèles divers et variés dits «modèles métiers». Dans ce contexte, le premier but de l'intégration de modèles est de faciliter la connexion et le dialogue entre ces modèles métiers impliqués dans l'ingénierie système. Les autres objectifs sont, l'étude des approches de conception système, la recherche de moyens de validation et de vérification et l'étude de la modélisation permettant l'interopérabilité des modèles. L'équipe ISI mène des travaux d'intégration de modèles suivant trois directions intimement dépendantes les unes des autres : modélisation des systèmes hétérogènes, intégration des modèles dédiés à l'ingénierie des exigences et à la conception et, enfin, simulation distribuée.

Modélisation des Systèmes Hétérogènes

Les travaux relatifs à ce thème s'appuient d'une part sur des standards issus du génie logiciel tels que UML (*Unified Modelling language*) et MDA (*Model Driven Architecture*) et, d'autre part sur l'expertise de l'équipe en modèles formels tels que les réseaux de Petri (RdP), les systèmes continus et les systèmes hybrides.

Les concepts du MDA permettent de séparer les spécifications fonctionnelles d'un système des spécifications de mise en œuvre. Ils permettent de structurer la modélisation et de tendre vers l'utilisation des mêmes modèles pour la simulation séquentielle ou distribuée de manière transparente à l'utilisateur.

Le langage UML, vu comme un des méta-modèles pouvant exprimer l'hétérogénéité, offre des possibilités d'extensions. Il nous a déjà

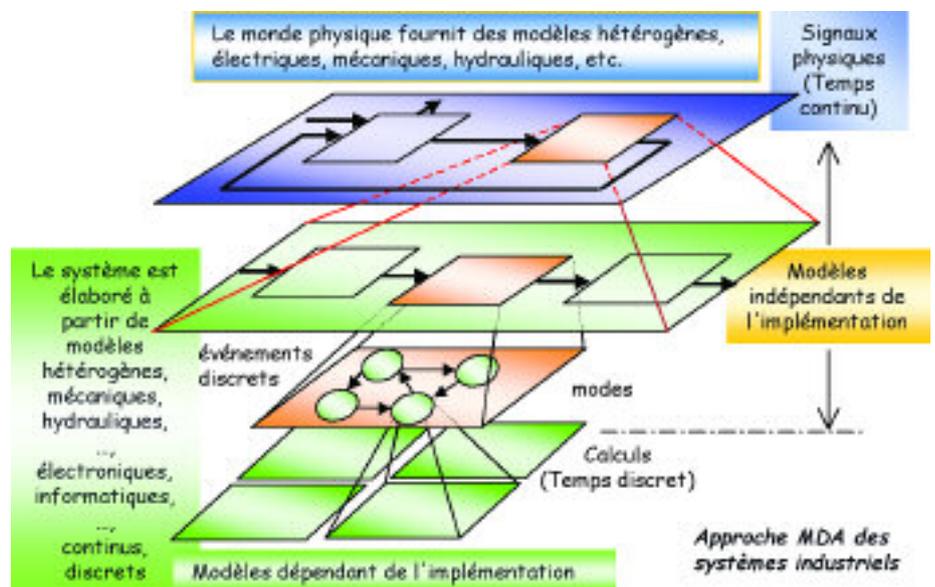
permis de définir l'approche UML/PNO pour la conception des systèmes temps réel embarqués, dans laquelle les RdP servent à formaliser les comportements des objets et viennent en soutien d'UML pour la décomposition et à la structuration en sous-systèmes.

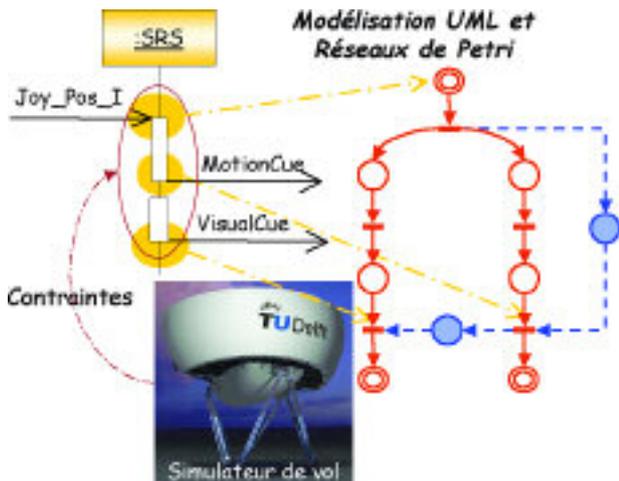
Intégration des Modèles

Deux types d'intégration de modèles sont considérés, d'une part l'intégration d'UML et des RdP, c'est à dire un langage semi-formel avec un modèle formel et d'autre part les RdP et les équations algébriques différentielles (EAD), deux modèles formels.

INTÉGRATION UML ET RÉSEAUX DE PETRI

Dans ce cas, l'approche d'intégration adoptée est une approche par traduction (obtention d'un modèle unique à partir de plusieurs modèles UML). La méthode UML/PNO a été définie de cette façon





Actions et applications

Parmi les applications industrielles, l'intégration des RdP et EAD a permis d'analyser la sûreté de fonctionnement de systèmes mécatroniques du monde automobile (dans une collaboration avec PSA Peugeot-Citroën).

L'équipe ISI participe également à des transferts technologiques, notamment dans le cadre de PISE (Pôle Intégration des Systèmes Energétiques). Elle anime le pôle *Systèmes électroniques et informatiques embarqués* du réseau 3RT (Réseau Inter-Régional de Recherche Technologique sur les Transports Terrestres).

Enfin, elle participe au projet LAAS de plate-forme de conception amont système.

dans le but d'aider le concepteur à valider et vérifier ses modèles et la cohérence inter-modèles.

Pour l'étude des aspects temporels du système, la méthode UML/PNO utilise également la logique linéaire de Girard dans le but de vérifier, au plus tôt dans le processus de développement, les besoins temporels des modèles d'analyse et de conception. Cette extension permet une approche par composant pour la structuration et par scénarios pour l'évaluation de besoins temporels. Une technique d'évaluation basée sur l'algèbre [Max +] est également utilisée.

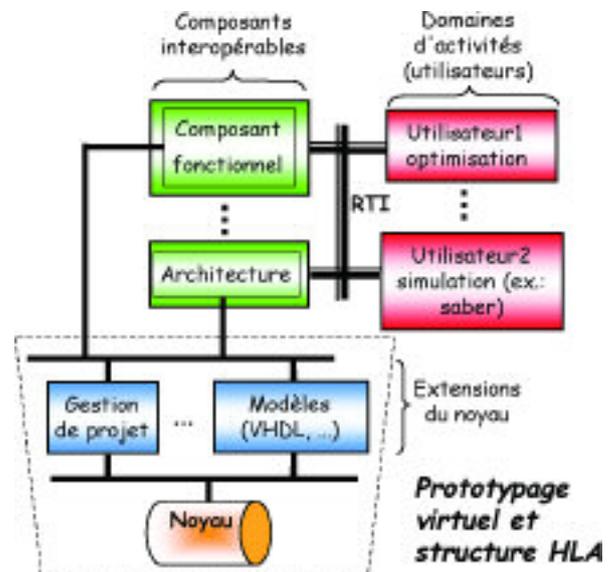
INTÉGRATION DES RÉSEAUX DE PETRI ET DES ÉQUATIONS ALGÈBRE-DIFFÉRENTIELLES

Initialement développé pour la conduite des procédés *batch* (*traitements par lots*), ce travail présente l'intérêt d'allier les deux aspects, continu et discret, inhérents à la complexité des procédés physico-chimiques et à leurs nombreuses configurations de fonctionnement. Le choix des deux formalismes a été guidé par le désir d'utiliser toutes les compétences des modèles métiers de la physique-chimie et celles des automaticiens en matière de modélisation discrète.

Afin de conserver les potentialités de chacun des modèles mis en jeu, la solution retenue a été une intégration par couplage: association des EAD aux places du RdP et formalisation du passage continu-discret. Elle permet de dégager un premier ensemble de propriétés de chacun d'eux en vue de vérifier la conservation ou la perte de leurs propriétés respectives sur le modèle intégré, ainsi que l'apparition éventuelle de nouvelles propriétés.

Simulation et Commande des Systèmes

La simulation est un complément indispensable à toute modélisation système. L'intérêt de la simulation réside non seulement dans les résultats fournis, et dans la rapidité d'obtention de ces résultats, mais également dans la possibilité de confronter rapidement analystes et utilisateurs dans leurs interprétations respectives des besoins. De plus, la simulation distribuée permet de connecter plusieurs



simulateurs et d'effectuer une simulation multi-modèles. Dans ce cadre, l'équipe a introduit la notion de système virtuel qui permet d'encapsuler les simulateurs et les modèles. La structure des systèmes virtuels permet de traiter la connexion des simulateurs et des modèles hétérogènes. L'approche utilisée est basée sur HLA (High Level Architecture) comme architecture distribuée de simulation permettant l'exécution simultanée de modèles métiers et de sous-systèmes réels. La gestion du temps de simulation est basée sur la méthode de synchronisation conservative.

Diagnostic, supervision et conduite qualitatifs

Les axes de recherche du groupe sont :

- >> Diagnostic et décision - Approches à base de modèles
- >> Surveillance et supervision par des méthodes d'apprentissage
- >> Optimisation et conduite supervisée de systèmes non linéaires

Le groupe DISCO développe des outils de Diagnostic et Supervision pour les systèmes dynamiques complexes, pouvant inclure l'homme. Nous mettons l'accent sur le caractère qualitatif de la supervision sans ignorer les aspects continus des systèmes. De ce fait, les systèmes hybrides et l'interface entre signaux continus et leur interprétation sous forme plus abstraite à événements discrets correspondent à une grande partie de nos travaux. La nature qualitative des connaissances et l'incertitude entâchant les données nous amènent à faire appel à des formalismes qualitatifs et symboliques trouvant leurs origines en Intelligence Artificielle de même qu'à des méthodes de classification et d'apprentissage.

Diagnostic et décision - Approches à base de modèles

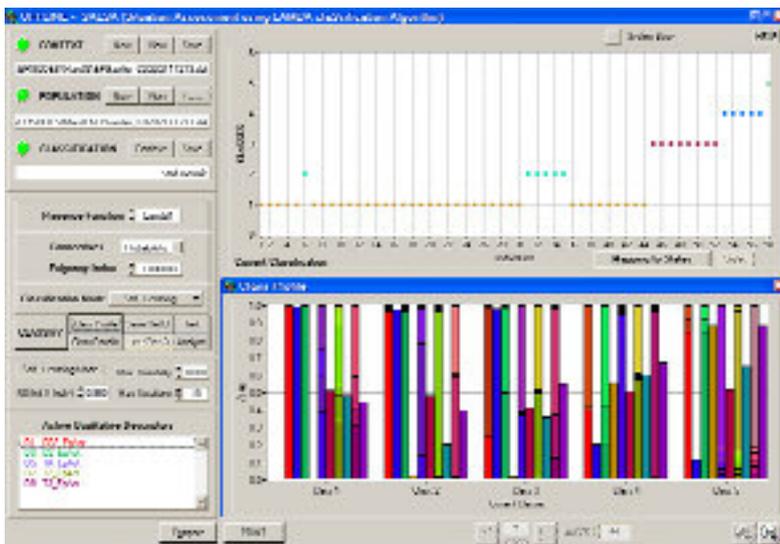
Le diagnostic se définit au sens large comme l'ensemble des trois tâches suivantes : détection, isolation et identification de fautes. Le diagnostic est primordial dans de nombreux domaines applicatifs, par exemple pour la surveillance des installations industrielles, ou

encore dans le contexte de l'autonomie des satellites. Nous abordons le diagnostic dans un contexte hors-ligne tout comme dans un contexte en-ligne. Les systèmes considérés sont principalement dynamiques et peuvent se représenter dans des espaces d'état continus, discrets ou hybrides. Nos études de fond concernent la modélisation et le raisonnement qualitatifs, la comparaison des approches des communautés d'Automatique et d'Intelligence Artificielle, l'analyse de diagnosticabilité. Par ailleurs, les études suivantes illustrent d'autres thématiques de travail récentes :

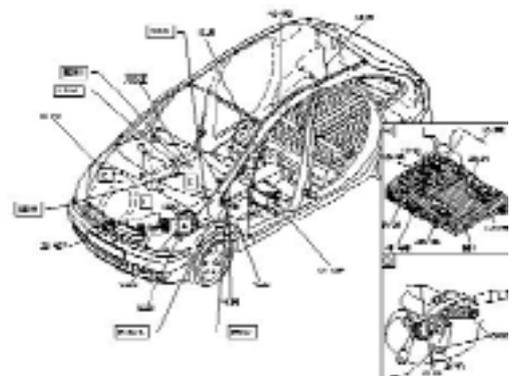
- Génération automatique d'arbres de diagnostic optimaux dans un contexte hors-ligne : ce problème est abordé par des méthodes de recherche heuristique (méthode AGENDA) et la prise en compte des fautes non anticipées par des modèles qualitatifs aux tendances venant compléter le parcours des arbres. Ce thème trouve une application privilégiée dans le domaine de l'automobile dans le cadre du Laboratoire Commun AutoDiag avec la société ACTIA et l'IRIT. (3)
- Diagnostic et la reconfiguration de systèmes hybrides incertains dans un contexte en-ligne : la modélisation hybride proposée (formalisme KOALA) intègre des automates concurrents dont les états

(1) Diagnostic, suivi et reconfiguration à base de modèles hybrides incertains. Application à un sous-système du satellite d'observation de la terre Spot 5





(2) Etats fonctionnels reconnus par LAMDA



(3) Diagnostic dans le domaine de l'automobile. Points de contrôle

représentent les différents modes opératoires des composants avec des modèles continus incertains (ensemblistes). Notre approche repose sur une représentation logique (appelée *configuration*) des différentes régions de l'espace d'état, ce qui permet une gestion par des techniques de satisfiabilité propositionnelle. La détection de fautes s'effectue au niveau continu suivant la méthode Ca-En et l'identification de l'état du système est gérée au niveau discret (logique) par une recherche des configurations cohérentes avec les observations courantes. Ces travaux ont été appliqués au Système de Contrôle d'Attitude et d'Orbite d'un satellite SPOT dans le cadre d'une collaboration avec le CNES et ASTRIUM. (1)

■ Supervision distribuée dans les systèmes à événements discrets complexes abordée suivant deux volets : la détermination de modèles basés réseaux de Petri au sein d'une architecture distribuée dont la structure est calquée sur l'organisation physique de l'application ; la surveillance distribuée basée sur des modèles événementiels exprimant des contraintes temporelles en présence d'incertitude sur les délais de communication.

Surveillance et Supervision par des méthodes d'apprentissage

Les objectifs poursuivis dans cet axe concernent le développement d'outils de fusion de l'information offrant aux « opérateurs » des processus industriels ou autre artefact une information facilement interprétable aussi bien en fonctionnement normal qu'en présence de défaillances. Il s'agit donc d'interpréter l'ensemble des signaux continus en termes de « modes opératoires » que l'opérateur sait appréhender et/ou de générer directement le niveau de performance/criticité dans lequel se trouve le système au cours du temps. L'outil doit être adapté à la représentation abstraite que l'opérateur possède du processus, ce qui nous amène à l'élaboration d'outils interactifs. Pour atteindre ces objectifs, nous faisons appel d'une part à des méthodes de traitement du signal et de l'image pour la détection d'événements significatifs, et d'autre part à des

méthodes de classification et reconnaissance pour caractériser les états fonctionnels d'un processus en ligne.

Nous nous plaçons en utilisateurs des méthodes classiques de classification statistique, des arbres de décision, des réseaux de neurones, des algorithmes flous comme 'c-means'. Cependant, nous portons un effort particulier au développement et à la valorisation de la méthode de classification avec apprentissage LAMDA que nous avons conçue et qui présente des caractéristiques utiles pour combiner des aspects quantitatif et qualitatifs.

Une application récente à des procédés pétrochimiques s'est réalisée dans le cadre du projet européen CHEM coordonné par l'IFP. (2) Par ailleurs, LAMDA est utilisé, éventuellement combiné à des indicateurs de défaut générés par observateurs non linéaires, dans le domaine du traitement des eaux.

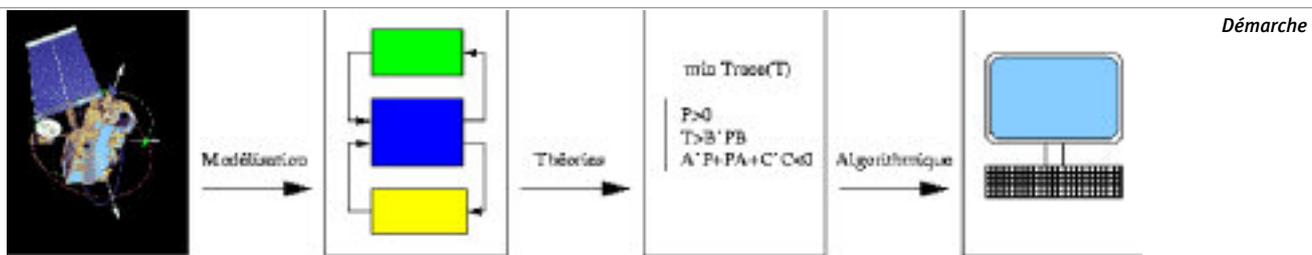
Optimisation et conduite supervisée de systèmes non linéaires

Le besoin d'introduire une boucle supérieure qui supervise la boucle classique de commande apparaît lorsque le système, ou son modèle, s'écartent des cas classiques, linéaires ou de faible complexité dimensionnelle. Soulignons la bonne position du groupe dans les domaines de la commande supervisée, comme la commande floue Takagi-Sugeno ou les travaux faits dans le domaine aéronautique, en utilisant des résultats de la commande non linéaire inverse. Ces derniers travaux sont appliqués dans le cadre de deux collaborations, l'une avec le CENA sur la navigation relative entre aéronefs et l'autre avec Airbus Industrie sur l'automatisation du roulage au sol.



Méthodes et algorithmes en commande

Les activités du groupe MAC sont ancrées dans le domaine de l'Automatique et de la théorie des Systèmes, avec des travaux menés sur les problèmes de modélisation, estimation, analyse et commande de systèmes dynamiques.



À partir d'un modèle à états continus, linéaire ou non-linéaire, stationnaire ou instationnaire, éventuellement soumis à des retards, les recherches se focalisent sur des systèmes (lanceur, satellite, station d'épuration, réseaux de télécommunications, robots, ...) pour lesquels :

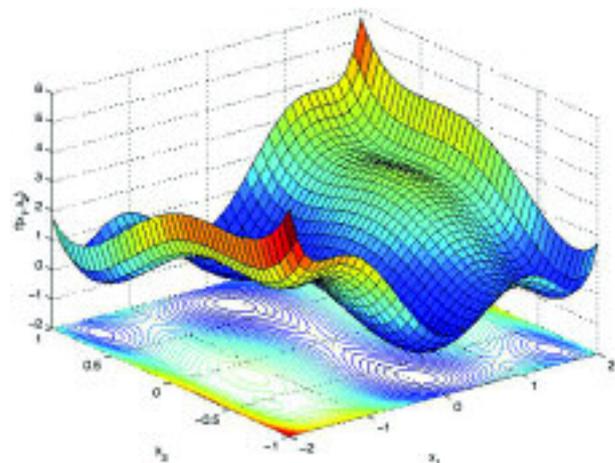
1. le modèle est soumis à des incertitudes prises en compte explicitement dans la synthèse de lois de commande grâce à diverses représentations mathématiques (polytopique, bornée en norme, linéaire fractionnelle, ...),
2. il apparaît des comportements non-linéaires liés à la nature du système (actionneur, capteur, ...) ou à l'action des lois de commande entreprises. L'idée principale consiste non seulement à exprimer des conditions théoriques caractérisant les solutions des différents problèmes, mais aussi à fournir des algorithmes efficaces déduits pour la plupart de problèmes d'optimisation formalisant les spécifications souhaitées dans le cahier des charges. Ainsi, les travaux du groupe se déclinent autour des deux thèmes principaux que sont **la commande robuste** et **la commande des systèmes non-linéaires**, l'optimisation apparaissant comme un outil commun.

Commande robuste

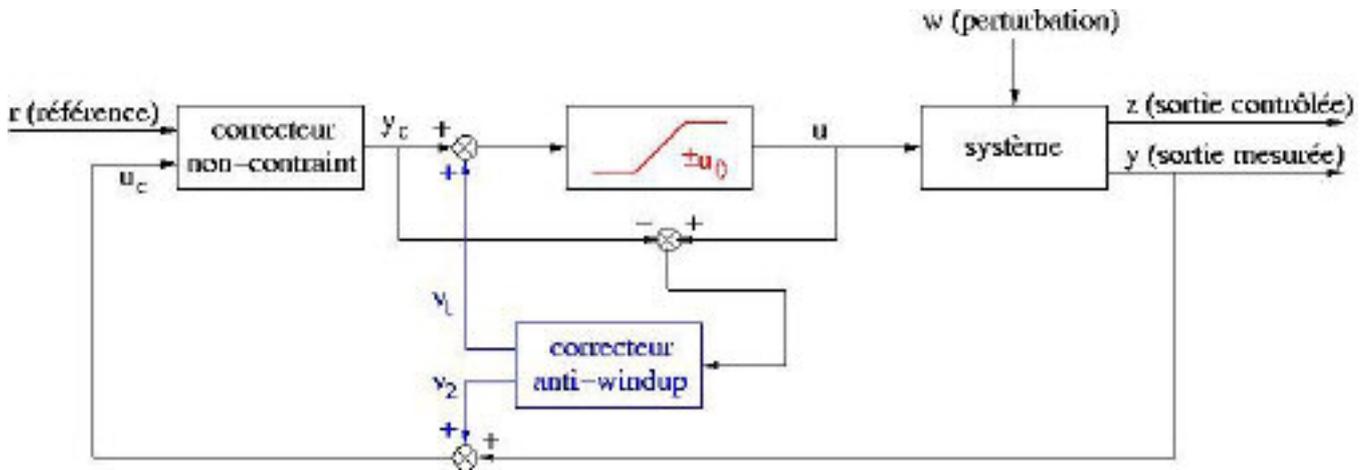
Le cadre des études menées en robustesse a pour objectif l'analyse, la commande et l'observation des systèmes dynamiques à modélisa-

tion incertaine et soumis à un environnement bruité (aléatoire ou non). Les points durs que sont les méthodes de synthèse de lois de commande structurées (décentralisées), retour de sortie statique ou dynamique d'ordre réduit (systèmes embarqués), constituent une ligne constante de recherche.

Les techniques sont développées aussi bien dans un contexte espace d'état que polynomial, et principalement abordées dans un cadre de



Optimisation globale (GloptiPoly)



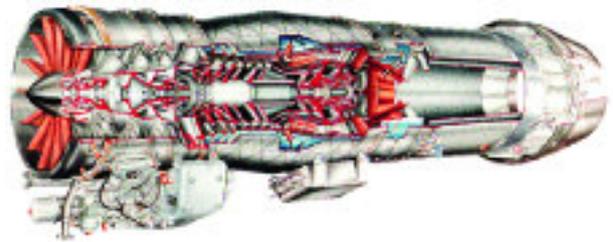
synthèse multi-objectifs (mixte H_2/H_∞ , impulse-to-peak). Pour gérer les compromis nécessaires à l'obtention de solutions, il nous faut étudier l'évaluation du pessimisme des méthodes d'analyse et de synthèse (structure de l'incertitude et séparation quadratique) afin de pouvoir le réduire. Une question liée à ce problème réside dans la fragilité/résilience du correcteur liée à la mise en œuvre de la loi de commande dont les coefficients sont nécessairement approchés. Une solution visant à déterminer un ensemble de correcteurs solutions est tout à fait pertinente puisqu'une incertitude sur les coefficients de la loi de commande est alors tolérée.

Le développement de méthodes et d'outils spécifiques pour la commande robuste implique le développement d'algorithmes et d'interfaces logicielles, basés sur la programmation semi-définie. Ceci nous amène à nous intéresser à des techniques d'optimisation, en particulier à l'optimisation non convexe (voir, par exemple, le logiciel GloptiPoly)

Non-linéarités

Nous n'abordons pas les systèmes non-linéaires dans leur généralité, mais en restreignant nos études à certaines classes de systèmes non-linéaires, qui présentent des intérêts pratiques certains. Ainsi en utilisant une approche quasi-LPV, les non-linéarités sont traitées comme des paramètres variables, dont la variation dépend de l'état du système. A partir d'un modèle non-linéaire, une politique de commande robuste de séquençement de gains autour de points d'équilibre transitoires définis pour obtenir des trajectoires satisfaisant les contraintes opérationnelles (domaine d'évolution, rapidité) peut être définie. Ce type de technique est particulièrement utile dans le cadre de la commande de turbopropulseurs (coopération LAAS-SNECMA), sachant que le modèle non-linéaire intègre des phénomènes mécaniques, thermiques et thermodynamiques.

De même, l'actionneur est une classe particulière de système non-linéaire. C'est, en général, un système dynamique pour lequel il est nécessaire, pour ne pas dégrader le fonctionnement du système



bouclé dans lequel il intervient, de contrôler ses sollicitations propres. Il est donc important de considérer la saturation à la fois en position et en vitesse ou, plus généralement, sur la dynamique de l'actionneur. Traiter du problème d'analyse de domaine de fonctionnement sûr pour le système bouclé avec différents modèles d'actionneur saturant implique le développement de méthodes adaptées. Ces problèmes sont largement présents dans les contextes aéronautique (haute manoeuvrabilité d'avion de combat), spatial (guidage et pilotage robuste de lanceurs) ou biologique (contrôle de systèmes d'égalisation).

En débordant du cadre du problème d'analyse (contrôleur supposé connu), une approche très prometteuse consiste à retoucher le contrôleur ou à rajouter une boucle supplémentaire (problème de l'*anti-windup*) afin, par exemple, que la saturation de l'actionneur ne dégrade pas (trop) les performances attendues.

Par ailleurs, des études sur les propriétés structurelles du système (inversibilité, commandabilité et accessibilité) sont nécessaires pour garantir l'existence de lois de commande assurant certaines performances (stabilité, poursuite,...).



Modélisation, optimisation et gestion intégrée de systèmes d'activités

Le groupe MOGISA concentre ses recherches sur les systèmes devant réaliser des activités à l'aide de ressources soumises à des contraintes pour la réalisation de projets ou de processus. Une caractéristique importante des domaines d'application (gestion de projets, conduite des systèmes de production de biens ou de services) est leur forte composante socio-technique, l'homme restant au centre de ces systèmes d'activités avec souvent une multiplicité de rôles. Ceci justifie notre objectif de définir des modèles, méthodes et outils permettant d'aider à analyser, évaluer, concevoir et conduire des systèmes complexes, dans un environnement incertain et perturbé.

Planification de la production

La planification d'activités dans des systèmes comprenant différents centres de décision en interaction mutuelle, repose sur des approches multi-niveaux basées sur des mécanismes d'agrégation de données. Elles permettent d'associer à chaque centre décisionnel, un modèle d'aide à la décision qui prend en compte les spécificités des centres et intègre les interactions entre centres.

Il s'agit de dégager les mécanismes d'agrégation pertinents afin de maîtriser la complexité liée à la variété des données et à l'incertitude, puis de modéliser chaque niveau de la structure décisionnelle, dont la cohérence globale nécessite que les décisions élaborées à un niveau puissent être mises en œuvre dans les niveaux inférieurs. Les modèles et méthodes de résolution s'appuient sur la programmation mathématique, la théorie des graphes et des flots, les métaheuristiques. Nous appliquons ce type d'approches aux industries manufacturières (gestion de chaînes logistiques et ordonnancement multi-niveaux) ainsi qu'à la gestion des activités en milieu hospitalier.

Ordonnancement

Nous abordons les problèmes d'ordonnancement par des approches centrées sur la représentation et l'exploitation des contraintes. L'objectif est de mettre au point des outils facilitant l'interaction entre des méthodes d'analyse utiles dans un contexte d'aide à la décision (vérification de la cohérence, caractérisation de l'espace des solutions) et des algorithmes efficaces de résolution.

La conduite robuste d'un système d'activités dans un environnement perturbé repose sur le développement d'algorithmes de propagation de contraintes permettant la restriction des solutions admissibles, en prenant en compte de manière intégrée les décisions d'ordonnancement et d'affectation, et sur l'utilisation d'un ordonnancement prédictif produisant une famille de solutions caractérisées par un ordre partiel d'exécution. Un système d'aide à la décision, incorporant des procédures réactives d'ordonnancement, permet ensuite d'organi-

ser en temps réel l'exécution des activités.

Une plate-forme Logicielle d'expérimentation, de validation et d'évaluation de méthodes d'Ordonnancement de tâches et d'Affectation de ressources (LORA) permet d'illustrer ces concepts.

Optimisation combinatoire

La construction et la résolution directe de modèles de programmation linéaire en variables mixtes nous a permis d'établir la planification optimale des télécommunications entre des sondes d'exploration planétaire et les satellites gravitant en orbite autour de la planète.

Nous avons également résolu plusieurs problèmes liés à l'affectation de personnel dans un contexte aéroportuaire (constitution de grilles de plannings, affectation des vacances aux agents).

Pour des cas à forte explosion combinatoire, une alternative est l'utilisation de techniques de génération de colonnes (décomposition du problème initial en un problème maître résolu par la programmation linéaire classique et en un sous-problème résolu par des algorithmes de graphes).

Coopération

Dans ce dernier thème, nous cherchons à savoir quels dispositifs d'aide à la coopération proposer aux organisations et comment s'assurer qu'un processus de négociation converge vers une solution satisfaisant l'ensemble des décideurs.

Dans un contexte de gestion de ressources humaines, nous proposons un modèle à base de contraintes pour la caractérisation limitée mais objective des profils requis par les activités et ceux offerts par les acteurs. Le but est de faciliter le pilotage des processus et l'affectation des ressources. L'adéquation des caractéristiques statiques et dynamiques des activités et des acteurs définit un problème de satisfaction de contraintes. Le pilotage de processus et l'affectation des acteurs posent un problème mixte de configuration et d'affectation.

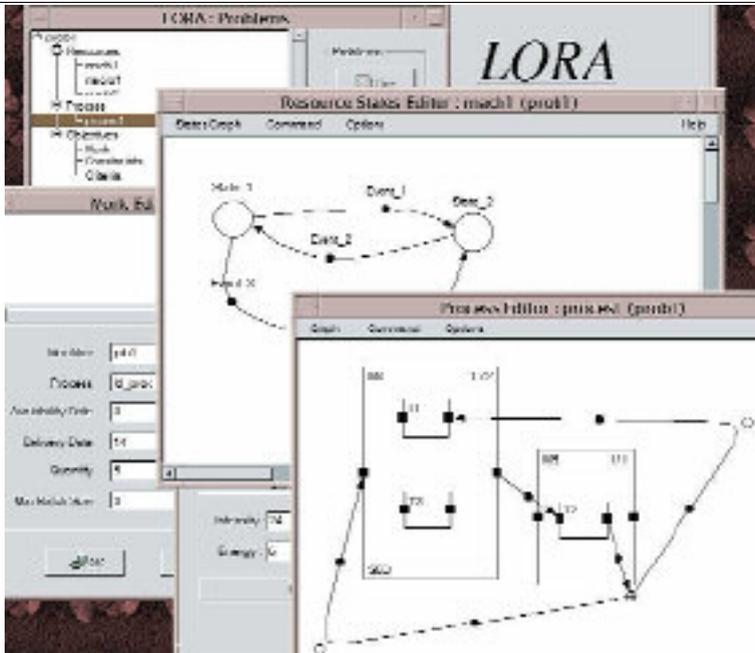


Plate-forme LORA

Télécommunications
inter-planétaires



Réseaux et systèmes de télécommunications

L'activité de recherche concerne le développement de nouvelles approches méthodologiques et algorithmiques principalement à base de modèles différentiels pour l'analyse, la conception, l'évaluation de performances de réseaux et systèmes de télécommunications. Elle porte également sur le traitement avancé des signaux et systèmes appliqué principalement au domaine des télécommunications.

Le groupe mène plusieurs projets de recherche sur la modélisation du trafic, l'optimisation et la planification de réseaux, les systèmes de calcul en grappes et en grille, la technique particulière appliquée au traitement du signal (RADAR, GPS et GSM), le filtrage de Volterra, l'identification héréditaire et la représentation diffusive. Les partenaires du groupe sont : Alcatel, Aérospatiale, Thales, DGA, DCN, Bouygues Telecom, Cegetel, CS-SI, Diginext, Alinka, QoS Design.

Analyse, Conception et Evaluation de Performances des Systèmes de Télécommunications

EVALUATION DE PERFORMANCES

Les recherches concernent la modélisation des processus stochastiques liés au trafic dans les réseaux (probabilité de blocage, délai de bout en bout, gigue et probabilité de pertes). Une première approche de type continu, basée sur la théorie différentielle du trafic élaborée au LAAS dans les années 80 permet de représenter précisément des réseaux à commutation de circuits et à commutation de paquets. La théorie différentielle ne permettant pas de représenter tous les processus stochastiques, une deuxième approche de modélisation hybride combine la modélisation analytique avec une simulation événementielle. Ces techniques sont utilisées pour la modélisation de grands réseaux d'opérateurs (téléphoniques et IP/MPLS). Les travaux concernent en particulier les sources de trafic hétérogènes, la modélisation différentielle du protocole TCP et les modèles de routeurs IP-MPLS-DiffServ. Les résultats de ces recherches sont valorisés par la très récente start-up QoS Design, issue du groupe, au travers de son produit NEST (Network Engineering & Simulation Tool).

OPTIMISATION DE RÉSEAUX

L'objectif des recherches est d'étudier les problèmes de planification

et d'optimisation de réseaux de télécommunications, en intégrant les différentes problématiques qui se posent à un opérateur (réseaux téléphoniques et réseaux IP) :

- **routage dynamique des flux de trafic** pour faire face à des variations de demande ponctuelles ou saisonnières, dans les réseaux téléphoniques (partage de charge, débordement, règles de routage) et dans les réseaux IP (optimisation des métriques, optimisation des chemins).

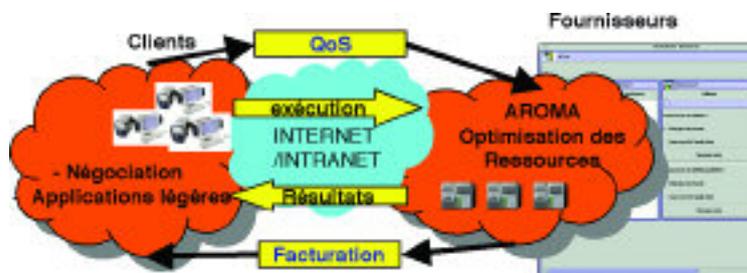
- **dimensionnement** des liens et des nœuds existants en fonction d'une demande prévisionnelle.

- **optimisation de topologie** pour la construction de nouveaux réseaux ou extension de réseaux existants (réseaux d'accès et réseaux dorsaux SDH sécurisés).

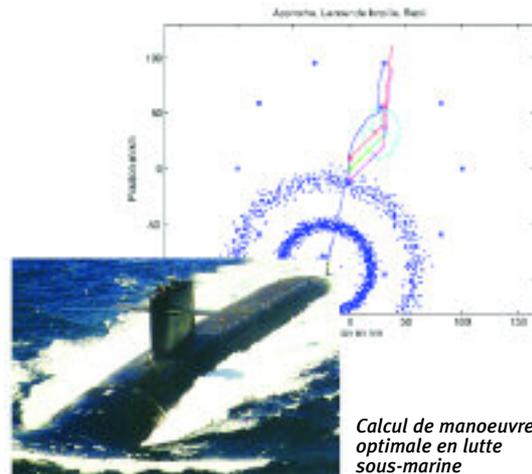
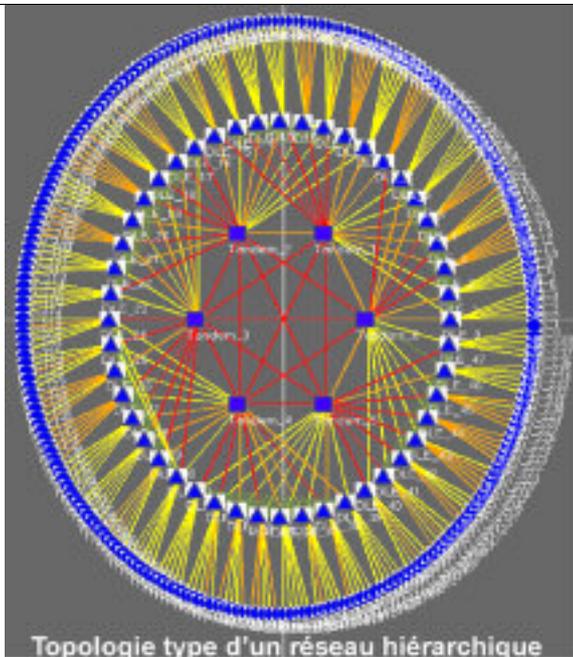
Dans ces trois niveaux, les problèmes d'optimisation sont complexes (non-linéarités, contraintes variées) et fortement combinatoires. Pour des réseaux de grande taille, l'optimisation ne peut se faire qu'en couplant des méthodes exactes à des méta-heuristiques.

GRILLES DE CALCULATEURS ET CLUSTERS ASP

Une grille de calcul fédère des ressources distribuées dont la puissance de traitement doit être utilisée aussi aisément et efficacement que possible. Les recherches concernent la modélisation de ce support d'exécution et des applications parallèles, l'accès transparent



Architecture du système d'accès à une grille de calcul (AROMA)



aux ressources hétérogènes et leur gestion, la supervision globale du système, l'aide aux utilisateurs et aux administrateurs.

Un cluster est à l'heure actuelle le support le plus apte à rendre un service de type « Application Service Provider » (ASP), grâce à ses qualités d'extensibilité, de modularité, d'évolutivité et de coût. Les recherches portent sur l'étude de la qualité de service (disponibilité), la facturation associée à une qualité prédéfinie, la non répudiation, l'authentification et la confidentialité.

Sun microsystems a mis en place un centre d'excellence au LAAS dans le domaine des grilles de calcul et du clustering pour des applications en réseaux et télécommunications, en partenariat avec la start-up QoS Design.

Des travaux sont également réalisés dans le groupe en algorithmique parallèle dans les grilles (en collaboration avec le LIFC et le LCS de Besançon). Ils portent sur les méthodes itératives avec communications flexibles, l'équilibrage de charge, la synchronisation ou non des calculs, la convergence et la terminaison des algorithmes, en particulier dans le cas où les opérateurs sont perturbés (par exemple à cause d'erreurs d'arrondis).

Traitement Avancé des Signaux et Systèmes

Ce thème concerne le traitement des problèmes non-linéaires, stochastiques et/ou distribués en modélisation, identification et optimisation (commande et filtrage). Les applications concernent essentiellement les secteurs Défense et Communications.

FILTRAGE

La technique particulière est née au LAAS en 1989 pour la solution constructive du filtrage optimal non-linéaire, par exploration-sélection sur l'espace des probabilités, au moyen de particules en nombre limité. La convergence lente ($1/\sqrt{n}$) de cette approche a été considérablement améliorée (en $1/n$) par interprétation déterministe à partir de 2001. Cette méthode a fait l'objet de brevets et a per-

mis des avancées significatives en traitement du signal pour le RADAR, le SONAR, la navigation LORAN, le positionnement GPS, et les communications cellulaires.

La technique particulière a été adaptée à la commande optimale non-linéaire par probabilisation du « problème aux deux bouts » en une estimation optimale du vecteur adjoint. Elle fournit l'optimum global de problèmes fortement non-convexes et/ou non différentiables, où des techniques habituelles sont inopérantes. Elle est actuellement appliquée en lutte sous-marine sur maquette embarquable pour l'aide à la manoeuvre de véhicules sous-marins. Le filtrage de Volterra concerne les estimateurs non-linéaires optimaux dans la classe des fonctionnelles polynomiales à noyaux séparables. Cet outil original, particulièrement adapté aux systèmes bilinéaires, a été appliqué à la discrimination de multi-émissions en guerre électronique.

MODÉLISATION ET COMMANDE

La représentation diffuse est un outil mathématique né au LAAS en 1992, pour l'analyse, la commande et l'estimation des systèmes à base d'opérateurs pseudo-différentiels ou plus généralement intégraux. Sa propriété fondamentale est de représenter les phénomènes dynamiques complexes sous forme de réalisation d'état dans un espace topologique adapté où s'appliquent les outils de l'analyse fonctionnelle et numérique. Parmi diverses applications probantes figurent la maîtrise du comportement transitoire du courant dans les machines électriques, le contrôle passif de systèmes propagatifs par frontières transparentes, ou encore le contrôle robuste au sens de la « pseudo-invariance » notion introduite précisément par le biais de la représentation diffuse. Le groupe est le siège d'une action thématique pluridisciplinaire sur ce sujet (www.laas.fr/gt-opd), soutenue et parrainée par les organismes de recherche nationaux.



Robotique et intelligence artificielle

Une machine peut-elle être intelligente ? Comment doter des machines de capacités sensori-motrices et cognitives leur permettant d'appréhender leur environnement et d'y agir ? Comment leur fournir les moyens pour apprendre ces capacités et développer cette intelligence ? Ces quelques questions fondamentales sont à l'origine des recherches menées par le groupe Robotique et Intelligence Artificielle.

La machine en question est, dans la vision du groupe, un robot matériel situé et agissant dans un environnement réel qui n'est pas spécifiquement conçu pour lui. Nous abordons, par une approche *constructive*, ces questions dans plusieurs contextes et plusieurs types d'environnements, afin de fournir des solutions génériques. Les travaux du groupe portent ainsi sur les trois grands domaines de la robotique : la perception, la décision et l'action - auxquels on peut ajouter aussi la communication, par une approche à la fois théorique et expérimentale, et résolument *intégrative*. Ceci pose également la problématique de l'organisation - donc l'architecture de contrôle - du système robotique qui doit être sûre et fiable.

Les recherches visent de plus à comprendre et à mettre en œuvre les mécanismes permettant au robot de développer ses propres capacités de perception, de décision ou d'action, grâce à des processus d'apprentissage. Finalement, si le robot est autonome, il est aussi en interaction avec d'autres machines et avec l'homme. Un pan des activités du groupe se focalise ainsi sur l'étude et le développement des méthodes et moyens permettant de réaliser ces interactions. La mesure de l'atteinte des objectifs de recherche est la rationalité autonome du comportement obtenue. Elle s'évalue par les performances du robot relativement à la diversité de ses tâches et à la variabilité de son environnement. Il s'agit d'une rationalité caractérisée par la complexité des traitements en temps contraint, par l'incertitude de l'information sensorielle, et par l'incomplétude des modèles et des programmes. L'évaluation des performances, en termes d'autonomie et de robustesse du robot, exige la confrontation expérimentale à un large spectre d'environnements et de tâches.

Des projets intégrés

Dans notre approche intégrative, la perception, la décision et l'action sont intimement couplées. Il ne s'agit pas là d'une « simple » intégration, mais de la réalisation d'un lien quasi organique entre elles, qui permet d'appréhender chacune de ces fonctions dans ses

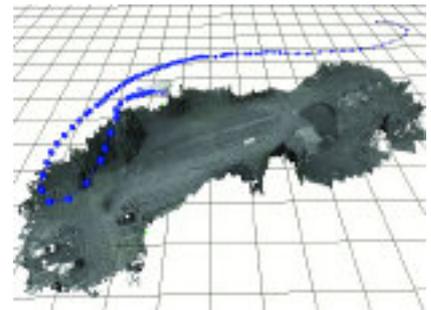
Les robots expérimentaux en environnement naturel Dala et Lama



relations avec les autres - ce qui les modifie individuellement. C'est précisément pour cette raison que nous maintenons deux projets intégrés internes : « Robotique en Environnements Humains » et « Robotique en Environnements Naturels ». Leurs problématiques se différencient par le type d'environnement qui permet de distinguer des problèmes différents pour la perception, la représentation, la planification et la réalisation du mouvement, etc. De plus, le premier projet explore le problème de l'interaction multimodale avec les humains alors que le second traite de robots très différents, aériens et terrestres. Ainsi un ballon dirigeable robotisé « Karma » a été développé par le groupe. Ces deux projets comportent des parties communes, par exemple les questions relatives à l'architecture de contrôle, qui nous permettent de montrer la généralité des travaux concernant ces aspects. Le groupe RIA participe activement à l'animation de la recherche dans les cadres européen et national et entretient de très nombreuses collaborations académiques sur le plan international, européen et national. Mais il est aussi très attaché à



Le dirigeable robotisé Karma et modélisation autonome de terrain à partir d'images aérienne



la mise en œuvre de ses travaux dans des contextes applicatifs, dans des projets collaboratifs directs ou dans le cadre de programmes nationaux ou européens. La robotique - au sens large qui est celui que le groupe fait sien - peut en effet contribuer à répondre à des besoins sociétaux et économiques réels. Classiquement, trois grands besoins amènent à considérer les techniques de la robotique dans les applications : la réduction des coûts d'un processus et l'augmentation de la productivité, les tâches fastidieuses et pénibles, et les environnements dangereux. Le groupe est présent dans chacune de ces catégories d'application ; mais deux nouvelles catégories ont aussi émergé ces dernières années dans lesquelles nous sommes engagés : l'augmentation de la sécurité et la contribution au mieux être des citoyens. Ceci s'exprime par exemple par les projets de supervision de situation de crise, de robotique chirurgicale, ou encore par la

problématique de la robotique en environnements humains, dans laquelle le robot peut jouer un rôle d'assistant pour une personne handicapée ou âgée. Ainsi dans ce type de contexte, nous traitons des problèmes de robustesse et de sûreté de fonctionnement, en collaboration avec d'autres groupes du laboratoire. Soucieux de transférer son savoir-faire dans le monde industriel, le groupe a récemment créé une entreprise, Kineo Computer Aided Motion, valorisant les résultats obtenus en matière d'algorithmique de la planification de mouvements.

Planification du mouvement : personnages animés



Les robots expérimentaux en environnement humain Hilare et Rackham



Tolérance aux fautes et sûreté de fonctionnement informatique

Les travaux du groupe portent sur la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques, définie comme la propriété permettant aux utilisateurs d'un système de placer une confiance justifiée dans le service qu'il leur délivre. Ils sont menés dans le cadre d'un continuum entre recherche tournée vers l'avancée des connaissances et recherche en partenariat avec le secteur socio-économique, dans l'objectif de nouveaux services et produits.

La sûreté de fonctionnement englobe les propriétés de disponibilité, fiabilité, intégrité, confidentialité, maintenabilité, sécurité par rapport aux défaillances catastrophiques (sécurité-innocuité) ainsi que de sécurité par rapport aux manipulations non-autorisées de l'information (sécurité-confidentialité). Les recherches couvrent la prévention des fautes, la tolérance aux fautes, l'élimination des fautes et la prévention des fautes. Ces travaux sont sous-tendus par la formulation des concepts de base de la sûreté de fonctionnement, qui est adoptée au niveau international.

Prévention des fautes

La prévention des fautes vise à empêcher l'occurrence ou l'introduction de fautes. Elle consiste à éviter des fautes de conception ou de fabrication, et à empêcher que des fautes ne surviennent en phase opérationnelle. Des méthodes sont développées pour définir des politiques de sécurité-confidentialité, afin d'identifier les propriétés à satisfaire et les règles auxquelles les applications et les organisations doivent obéir. Ces propriétés peuvent être contradictoires (par exemple, confidentialité et disponibilité) ; la politique proposée doit résoudre au mieux de tels conflits.

Les travaux récents concernent les applications médicales et de santé qui se caractérisent par des exigences de confidentialité, d'intégrité et de disponibilité, mais aussi de responsabilité et de garantie de la protection de la vie privée. Les méthodes développées visent à définir des politiques adaptées à la grande diversité des organisations dans lesquelles de telles applications doivent être mises en œuvre (hôpital, cabinets médicaux, caisses d'assurance maladie,...).

Tolérance aux fautes

La tolérance aux fautes correspond à un ensemble de moyens pour assurer la fonction d'un système en dépit des fautes. Les travaux sont centrés sur des techniques logicielles réparties pour tolérer les fautes physiques et de conception, et les malveillances. Ils concernent

Démonstrateurs, outils et partenariat

Les recherches trouvent une concrétisation dans des démonstrateurs et outils, parmi lesquels :

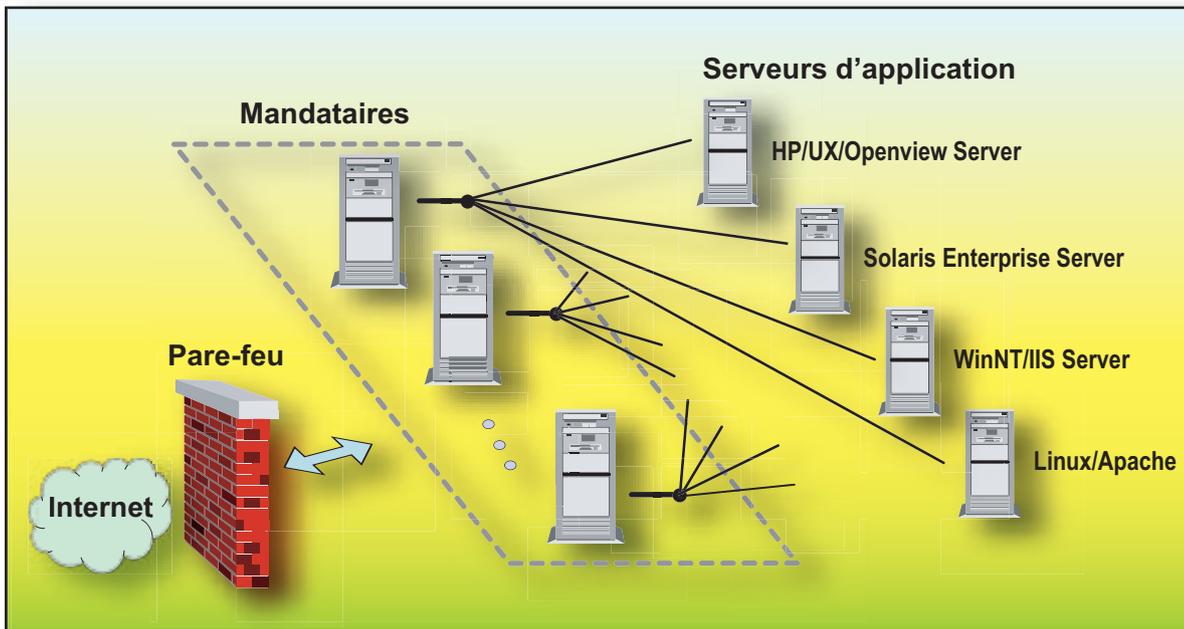
CORBAC : démonstrateur de la politique de sécurité OrBAC (*Organisation Based Access Control*) pour des réseaux de santé (centres de soins, laboratoires, assurance maladie) à partir d'une description UML.

COFFEE : outil de caractérisation des modes de défaillance d'intergiciels CORBA.

Les travaux s'appuient sur un partenariat suivi avec le secteur socio-économique, notamment au sein du Réseau d'Ingénierie de la Sûreté de fonctionnement (Airbus, Astrium, Technicatome, Thales) et de plusieurs projets nationaux et européens.

quatre axes principaux :

- la protection des applications réparties sur *Internet* : des serveurs tolérants aux fautes accidentelles et aux malveillances sont développés, en utilisant au maximum la diversification des plates-formes matérielles, des systèmes opératoires et des logiciels d'application.
- l'utilisation du principe de réflexion pour une mise en œuvre transparente de la tolérance aux fautes : une approche multiniveaux a été définie et une plate-forme a été développée à base de mécanismes réflexifs standard.
- l'empaquetage de logiciels exécutifs : il s'agit d'assurer le contrôle en ligne de propriétés de sûreté de fonctionnement spécifiées par une modélisation en logique temporelle des logiciels cibles. Ce principe a été appliqué à des micronoyaux temps réel et à des intergiciels (*middleware*) CORBA.
- la protection des communications de réseaux de micro-actionneurs : ces travaux concernent les futurs systèmes de commande-contrôle temps réel pour l'avionique civile, et sont effectués en collaboration avec Airbus. Des moyens de protection spécifiques à base de code détecteur d'erreurs ont été proposés.



Serveurs Internet tolérants aux intrusions à base de redondance adaptative avec diversification

Élimination des fautes

L'élimination des fautes vise à réduire le nombre ou la sévérité des fautes. Les recherches portent sur le test des logiciels. Les travaux récents ont permis d'étendre le champ d'application du test statistique, qui est une méthode probabiliste de génération des entrées de test définie et appliquée avec succès dans les travaux antérieurs. Ils visent trois axes principaux :

- le test des logiciels réflexifs : une stratégie de test générique et incrémentale, reposant sur la décomposition des capacités réflexives (réification, intercession et introspection), a été proposée dans le cadre d'une convention avec France Telecom.
- l'étude de la complémentarité entre test et preuve : une méthode intégrant des informations issues de preuves informelles a été mise au point pour la conception du test.
- la conduite de tests vis-à-vis de propriétés de sécurité-innocuité : il s'agit de concevoir des scénarios de test susceptibles de violer ces propriétés en s'appuyant sur des heuristiques d'optimisation.

Prévision des fautes

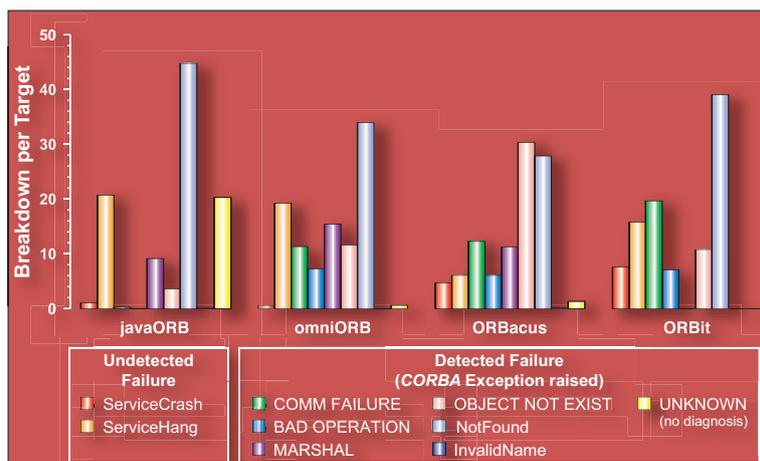
La prévision des fautes vise l'estimation de la création, de la présence et des conséquences des fautes. Les travaux ont pour objectif la prévision des conséquences des fautes physiques, des fautes de conception et des malveillances sur la sûreté de fonctionnement. Ils concernent l'évaluation analytique et l'évaluation expérimentale.

Les travaux actuels en évaluation analytique portent sur le développement d'un cadre conceptuel pour la modélisation hiérarchique par les processus stochastiques adapté aux applications déployées sur *Internet*. Il s'agit d'évaluer la sûreté de fonctionnement telle qu'elle est perçue par les utilisateurs en considérant différentes hypothèses de fautes, d'architectures, et de profils d'utilisation.

En évaluation expérimentale, les recherches concernent deux volets : l'analyse de données de défaillances, et la conduite d'expériences contrôlées.

En ce qui concerne le premier volet, le travail concerne le développement d'algorithmes et de procédures permettant l'exploitation des messages d'erreurs de systèmes *Unix* et *Windows* interconnectés, pour l'évaluation de la sûreté de fonctionnement. Cette étude s'appuie sur le réseau du LAAS.

Les expériences contrôlées concernent d'une part la caractérisation des modes de défaillances de systèmes opératoires (Linux et Windows) et d'intergiciels CORBA et d'autre part l'étalonnage (*benchmarking*) de la sûreté de fonctionnement des systèmes informatiques. Un cadre conceptuel pour la définition d'étalons de sûreté de fonctionnement et des prototypes d'étalons ont été proposés.



Caractérisation de services CORBA par corruption des messages inter-objets



Outils logiciels pour la communication

Les travaux du groupe OLC portent sur la conception des logiciels de communication pour la réalisation d'applications réparties hauts débits multimédias coopératives. Concevoir de tels systèmes amène à définir et réaliser, à partir d'une méthodologie rigoureuse, un ensemble de composants logiciels caractérisés par des contraintes temporelles et coopératives fortes.

Le processus de conception s'appuie sur des bases formelles et couvre les différentes étapes de la spécification à l'implémentation en passant par la description de l'architecture et des comportements, tout en assurant leur validation. Ces travaux sont structurés en trois thèmes scientifiques principaux, qui sont détaillés ci-après.

Thème CFA. Concepts, Formalisation et Analyse

Ce thème s'intéresse à la modélisation et la vérification des systèmes répartis, coopératifs, temporellement contraints. La criticité de tels systèmes rend impérative leur vérification tant au niveau qualitatif (comportemental) que quantitatif (temps de réponse, débit, taux de pertes, ...). La diffusion des techniques de description formelle et leur intégration dans le processus de conception nécessitent une meilleure résistance au facteur d'échelle des techniques de vérification et également un couplage sémantique entre le formel et les approches « métier » ou semi - formelles en vigueur dans l'industrie.

Thème APC. Architectures et Protocoles de Communication

Ce thème s'intéresse à la conception de protocoles de transport innovants destinés au multimédia et incluant des aspects multipoints et coopératifs, à la définition d'architectures de communication à qualité de service garantie dans des environnements multi-domaines et multi-réseaux, et à la métrologie pour caractériser le trafic, anticiper ses évolutions et exploiter les résultats de mesures pour concevoir des architectures et protocoles adaptés aux contraintes du réseau et de son trafic, en plus des besoins utilisateurs.

Thème CSC. Composants et Services de Coopération

Ce thème s'intéresse aux méthodologies et techniques pour la conception et le développement d'architectures logicielles distribuées dynamiques et adaptatives, ainsi qu'à la définition des protocoles de coordination associés. Le domaine d'application est le support des

activités coopératives distribuées. Les réalisations portent sur le développement d'outils logiciels pour la coopération et de services de coordination de groupes. Différentes technologies sont utilisées pour la validation et la mise en œuvre des services et pour l'intégration des composants, parmi lesquelles les services web, le standard CORBA, les technologies composants CCM, EJB, et les architectures peer-to-peer.

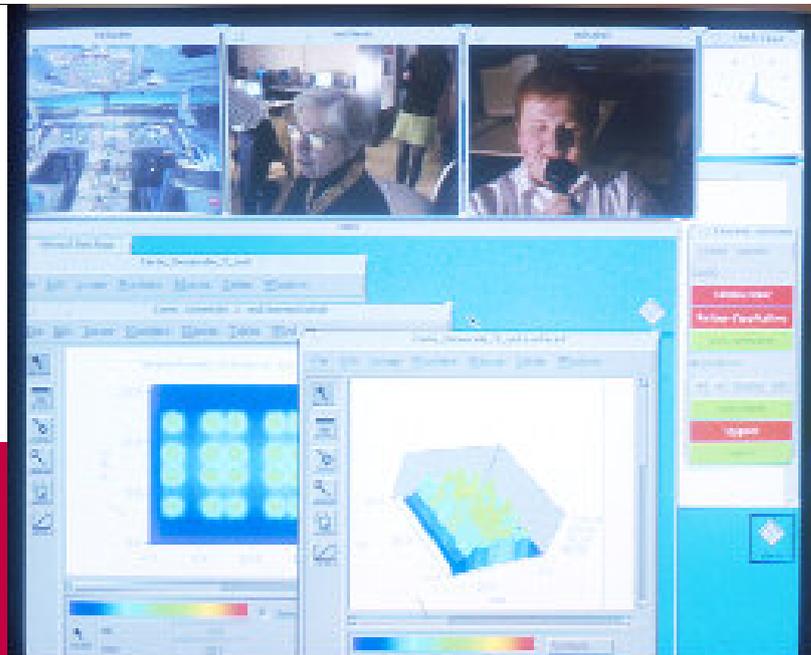
Dans le but de compléter et d'évaluer ces thèmes scientifiques sur quelques objectifs plus focalisés, trois projets internes, de durée limitée, ont été définis.

1. ENVIRONNEMENT DE TÉLÉ-INGÉNIERIE COOPÉRATIVE

Ce projet a pour objectif de développer l'environnement de coopération PLATINE qui intègre des composants de coopération multimédia permettant de dialoguer par la voix et la vidéo. Cet environnement supporte le travail collaboratif et permet également de partager des documents et des logiciels métiers conçus initialement en mode mono utilisateur. PLATINE est utilisé dans différents projets nationaux et européens et a fait l'objet d'un dépôt de dossier de valorisation auprès du CNRS.

2. PLATE-FORME D'EXPÉRIMENTATION MULTIMÉDIA COOPÉRATIVE

Ce projet a pour objectif de mettre en œuvre une plate-forme d'expérimentation multimédia coopérative au niveau du laboratoire, destinée à servir de support à des projets de recherche. Elle utilise RENATER 3 qui donne aussi accès au réseau de la recherche européen GEANT. Au niveau matériel, elle se compose de stations de travail Unix et de PC, mais intègre aussi des sondes de mesure actives et passives, des machines d'analyse des traces de trafic capturées et une plate-forme d'expérimentation sans fil (WIFI).



Écran de co-conception distribuée par l'environnement PLATINE

Travaux contractuels

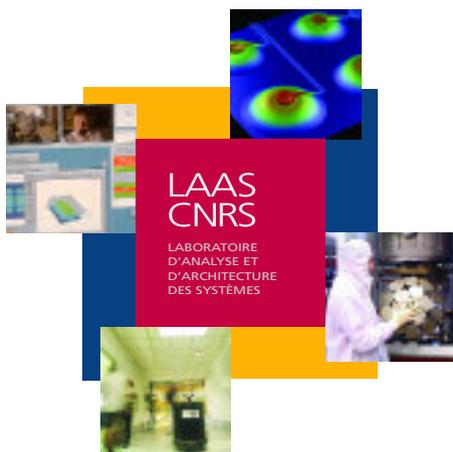
Le groupe a mené et mène une activité importante de transfert et de valorisation de ses résultats, en liaison à la fois avec d'autres laboratoires publics et des industriels du domaine tels que Alcatel Espace, Airbus, EADS, France Telecom R&D, Thales, 6Wind, Realix, Silogic.

Le groupe a contribué et contribue au programme IST de la CE en tant que participant ou co-ordinateur de plusieurs contrats dans le domaine des réseaux et du multimédia (nouvelle couche transport pour l'Internet, accès satellite transparent au protocole IP), de la conception d'architectures coopératives et d'environnements de support pour l'ingénierie coopérative distribuée et du déploiement de théories pédagogiques avancées dans un contexte de réalité augmentée et de réalité virtuelle avec des utilisateurs mobiles.

Finalement, le groupe a également participé et participe à plusieurs projets dans le cadre des réseaux nationaux de recherche, RNRT et RNTL, dans le domaine de la convergence des réseaux fixes et mobiles, des communications de groupe, de la métrologie pour l'Internet et de la définition d'un environnement de développement pour la modélisation et la validation d'applications temps réel.

3. SYSTÈMES DISTRIBUÉS TEMPS RÉEL ET APPLICATIONS DE CONTRÔLE - COMMANDE

Ce nouveau projet se situe dans le cadre général de la mise en œuvre d'applications de contrôle commande de procédés physiques sur des calculateurs raccordés en réseau. Il comprend des études sur la QoS et l'analyse de l'influence de la QoS (au niveau exécutif et réseau) sur les performances d'applications de contrôle – commande.



LAAS-CNRS

7 avenue du Colonel Roche,
31077 TOULOUSE Cedex 4 - FRANCE

Tél. : +33 (0)5 61 33 62 00

Fax : +33 (0)5 61 55 35 77

laas-contact@laas.fr

<http://www.laas.fr/>